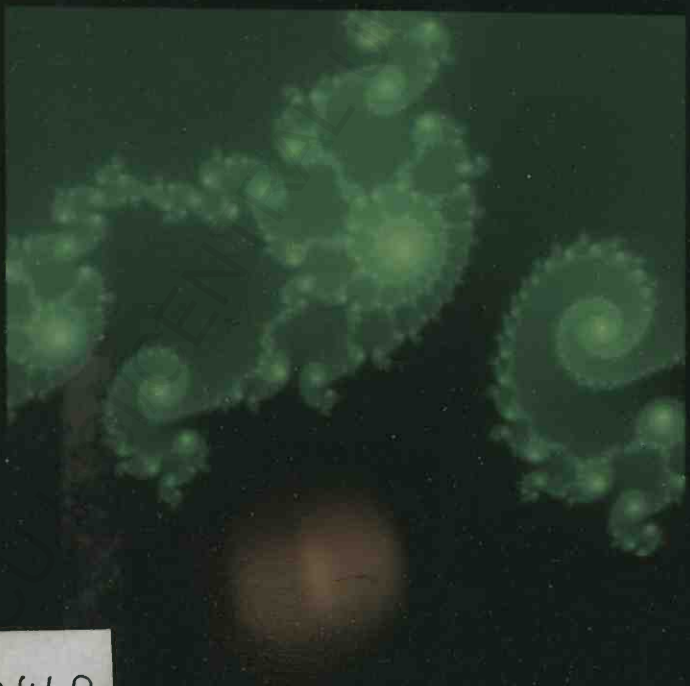
Lucia Faiciuc

Abordarea dinamică a proceselor cognitive superioare



II 400.748

Argonaut

BIBL. CENTR. UNIV.
„M. EMINESCU" IAŞI
II 400.748

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Lucia Faiciuc

Abordarea dinamică a proceselor cognitive superioare

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Lucia Faiciuc

519 784

ABORDAREA DINAMICĂ A PROCESELOR COGNITIVE SUPERIOARE

ALE

444612
B.C.U. IASI

Argonaut
Cluj-Napoca
2008

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SERIA :

• Filosofie • Sociologie • Psihologie •

Coordonator: Dr. Emil POP

Lucrare apărută cu sprijinul financiar al

Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică

Referent științific:

Cercetator Științific gradul I Dr. Vasile V. Morariu

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

FAICIUC, Lucia

Abordarea dinamică a proceselor cognitive superioare /

Lucia Faiciuc – Cluj-Napoca : Argonaut, 2008.-

500 p. ; 21 cm. – (Filosofie, Sociologie, Psihologie)

Bibliogr.

ISBN : 978-973-109-134-1

159.954/.956:517.988

© Argonaut, 2008

Editura ARGONAUT

Cluj-Napoca

Str.Ciucas 5/15

Tel./Fax: 0264-425626

0746-752191 ; 0740-139984 ; 0788-100248

www.editura-argonaut.ro

e-mail: office@ editura-argonaut.ro

editura_argonaut@yahoo.com

Consilier editorial atestat: Emil POP

8. APR. 2009

CUPRINS

Cuvânt înainte 9

Partea 1:
Teoria sistemelor dinamice neliniare

Introducere 11
Scurt istoric al TSDN 14
Definirea noţiunii de sistem. Tipuri de sisteme 18
Sisteme statice – sisteme dinamice 25
Sisteme dinamice neliniare – sisteme cibernetice 33
Definiţii din literatura de specialitate ale sistemelor dinamice 40
Tipuri de sisteme dinamice 55
Concepte fundamentale ale TSD şi ale teoriilor conexe 61
Timpul 61
Variabilă continuă 61
Derivată 61
Variabila dinamică 62
Ecuaţia diferenţială 63
Ecuaţie diferenţă (ecuaţie cu diferenţă finită, relaţie de recurenţă) 63
Ecuaţii dinamice 63
Parametru de control 64
Liniaritate, neliniaritate 64
Câmp vectorial 69
Varietate 70
Spaţiul stare şi spaţiul fază 71
Starea curentă, vectorul de stare 73
Vectorul câmp al sistemului 74
Iteraţie 74
Lege dinamică (operatorul de evoluţie, regula de actualizare) .74

BCU CLUJ / UNIVERSITY LIBRARY

Imagine 75
Preimagine 75
Condiţie iniţială (Stare iniţială) 75
Comportamentul sistemului 76
Orbită şi traiectorie 76
Secţiunea Poincaré, iteraţia Poincaré, iteraţia inversabilă 78
Iteraţia temporală 79
Exponenţii Lyapunov 79
Mulţime invariantă 80
Mulţime limită 80
Tipuri de mulţimi limită: atractorii, repulsorii şi punctele şa 82
Bazin de atracţie 90
Graniţă separatoare 91
Dimensiunea unui atractor 91
Topologie 92
Portret de fază, diagramă de fază, flux 93
Relief topologic 94
Sensibilitatea la condiţiile iniţiale 96
Ergodicitate 100
Haos determinist 100
Orizont de predicţie 110
Fractal, dimensiune fractală 112
Atractor straniu 119
Dimensiuni folosite pentru a descrie un atractor 120
Perturbare, fluctuaţie 122
Stabilitate, instabilitate, multistabilitate, metastabilitate 124
Cuplare 130
Complexitatea 131
Autoorganizarea 135
Parametrul de ordine 139
Emergenţa, proprietate emergentă 141
Sinergetica 142
Sisteme conservative, sisteme disipative, structuri disipative 143

Entropia pentru sistemele aflate departe de echilibru 148
Bifurcația, punct de bifurcație 149
Spațiul de control sau spațiul parametrilor 156
Mulțimea de bifurcație 156
Diagrama de răspuns (de bifurcație) 157
Singularitate, punct critic, criticalitate 159
Catastrofă 161
Hysteresis, contrast accentuat, graniță critică 166
Limita haosului 168
Criză 169
Sincronizare 169
Tranziție 170
Staționaritate, nestaționaritate 173
Semnele neliniarității, tehnici de identificare a tipului de sistem neliniar 174
Dinamică simbolică 180
Modelarea dinamică 181
Dinamică de tip calitativ 181
Controlul unui sistem dinamic 182
Dinamica informației 182
Exemple de sisteme dinamice 184
Concluzii 193

Partea a 2-a:
Abordarea dinamică a proceselor cognitive superioare

Introducere 200
Istoricul abordării dinamice în psihologie 202
Argumente în favoarea unei modelări a activităților cognitive superioare prin prisma conceptelor și metodologiei TSDN ...232
Argumente care fac referire la proprietăți ale creierului 239
Argumente în favoarea teoriei cogniției încorporate 243

BCU "LUCIAN BLAGA" CENTRALA UNIVERSITARĂ

Argumente bazate pe proprietăţile recunoscute ale sistemului cognitiv 244
Argumente care se referă în mod direct la deficienţele computaţionalismului 244
Argumente care ţin de rezultate generale ale unor studii empirice . 245
Argumente care ţin de datele introspecţiei 248
Obstacole care stau sau au stat în calea dezvoltării unei abordări dinamice în psihologie 250
Argumente care ţin de avantajele explicative ale unei abordări dinamice 252
Câteva critici aduse abordării dinamice şi contraargumente pentru acestea 256
Interpretarea dinamică a sistemului cognitiv 260
Interpretarea dinamică a proceselor de memorie şi a reprezentărilor mintale 313
Interpretarea dinamică a procesului de categorizare şi a reprezentărilor conceptuale 362
Interpretarea dinamică a proceselor rezolutive 385
Interpretarea dinamică a proceselor de raţionament 394
Interpretarea dinamică a proceselor de rezolvare a problemelor 420
Interpretarea dinamică a proceselor de evaluare şi decizie 427
Interpretarea dinamică a proceselor limbajului 446
Interpretarea dinamică a proceselor atenţionale 462
Interpretarea dinamică a stărilor de conştiinţă 468
Concluzii 474

Bibliografie 477

BCU IAŞI / CENTRU UNIVERSITAR

Cuvânt înainte

Lucrarea de faţă se adresează în primul rând psihologilor, specialiştilor din alte domenii şi altor cititori curioşi care şi-ar dori să se familiarizeze, la un nivel mai degrabă intuitiv, cu principiile şi conceptele dinamicii neliniare şi ale teoriilor conexe (a catastrofelor, a haosului, a fractalilor, a structurilor disipative, a complexităţii, sinergetica etc.) şi cu o perspectivă din prisma acestora asupra proceselor cognitive superioare. Obiectivul lucrării a fost acela de a realiza o radiografie cât mai cuprinzătoare a stadiului actual al cercetărilor teoretice şi empirice în această privinţă şi de a oferi o baza conceptuală pentru a le înţelege.

Am pornit de la constatarea absenţei (fie pe plan naţional, fie pe plan internaţional, unde am întâlnit doar culegeri de studii dedicate temei) şi a necesităţii unei lucrări care să coagulepze contribuţiile disparate din literatura de specialitate şi nu numai ale unui curent de gândire din ştiinţele cognitive actuale care tinde spre dobândirea statutului de paradigmă alternativă sau complementară celor dominante în prezent (computaţionalismul simbolic şi, într-o mai mică măsură, conexionismul). Motivaţia de bază a fost aceea că, prin îmbinarea "pieselor de puzzle" disponibile la ora actuală, va fi posibilă formarea unei idei cu privire la tabloul general, astfel încât să se evidenţieze mai bine trăsăturile caracteristice, avantajele, dezavantajele, potenţialităţile şi deficienţele curente al unei abordări dinamice a cogniţiei superioare. Date fiind limitele de spaţiu, comparaţia cu alte teorii asupra proceselor cognitive a fost în mare parte implicită. S-a renunţat la o prezentare explicită a acestora cu gândul că astfel de teorii îi vor fi oricum cunoscute, în linii mari, cititorului interesat, existând, pe deasupra, numeroase surse de informare la un nivel general cu privire la ele, în caz de nevoie.

În mod inevitabil, sinteza realizată este una care poartă amprenta unei viziuni personale în ceea ce priveşte studiile incluse, gradul de extindere în prezentarea lor, evaluările propuse şi sugestiile proprii. Pertinenţa acestora rămâne a fi judecată de cititori. Semnalez în cele de faţă câteva neajunsuri ale cărţii care se pot constata încă din start. În primul rând, deşi un indice de termeni şi unul de autori ar fi fost utile cititorilor, la fel ca trimiterile mai exacte la secţiuni sau pagini ale lucrării care tratează subiecte similare, limitele de timp şi de spaţiu m-au determinat să nu le mai includ în lucrare. În al doilea rând, date fiind

dificultatea accesului la unele lucrări bibliografice, şansele mai mici ca articolele ştiinţifice din domeniu să fie publicate în jurnalele de specialitate (datorită nepotrivirii cu cadrele mintale şi competenţele evaluatorilor care fac selecţia studiilor publicate) şi faptul că, uneori, informaţiile citate fac parte din fondul celor care sunt general recunoscute în rândul cercetătorilor dintr-un domeniu (neputând fi atribuite unui anumit autor în particular), am apelat într-o măsură mai mare la sursele prezente pe internet sau la citări indirecte. În al treilea rând, de multe ori, notaţiile matematice nu au o formă unificată şi, din diverse motive, nici o prezentare uzuală în rândul matematicienilor. În al patrulea rând, lucrarea poate părea că are un caracter prea accentuat explorator şi speculativ. În ultimul rând, pentru a creşte gradul de inteligibilitate a celor prezentate, s-au păstrat o serie de termeni care sunt caracteristici psihologiei cognitive tradiţionale, cu care psihologii sunt mai obişnuiţi, dar care pot fi apreciaţi ca improprii sau ca având un alt sens într-o perspectivă dinamică. Uneori, acest lucru poate crea impresia unei inconsecvenţe terminologice sau conceptuale.

Lucrarea cuprinde două părţi. Prima dintre ele, cu rol introductiv, pregătitor, este dedicată unei prezentări relativ extinse a teoriei sistemelor dinamice, a acelor conexe şi a conceptelor lor. Cea de-a doua parte tratează propriu-zis abordarea dinamică a cogniţiei superioare, incluzând câte o secţiune separată pentru procesele şi reprezentările memoriei, procesele de categorizare şi reprezentările conceptuale, procesele rezolutive (raţionament, rezolvare de probleme, evaluare şi decizie), limbaj, atenţie şi conştiinţă.

Le datorez mulţumiri tuturor celor care m-au sprijinit în perioada elaborării acestei lucrări, în special familiei, prietenilor, colegilor de la Departamentul de Cercetări Socio-Umane al Institutului de Istorie "George Barițiu" din cadrul Filialei Cluj a Academiei Române, conducătorului de doctorat, Prof. Dr. Mircea Miclea, şi editorului.

În final, îmi exprim speranţa că acest început, oricât de modest, de a prezenta cititorilor ceea ce s-ar putea numi printr-o metaforă "dansul gândului", care ar reda mare parte din esenţa viziunii dinamice actuale asupra cogniţiei superioare, va fi de folos celor care vor dori să se aventureze într-un tărâm care a fost încă foarte puţin explorat.

8 august 2008

Autoarea

Partea 1

TEORIA SISTEMELOR DINAMICE NELINIARE

Introducere

Noțiunea de sistem, de abordare sistemică, a fost atât de des invocată în literatura științifică încât aproape s-a banalizat și și-a pierdut semnificația. Afirmația că ceva este un sistem apare ca fiind una care nu are, în sine, mare utilitate. Dar, începând cu anii '80 ai secolului trecut, s-a înregistrat din nou o creștere a interesului pentru studiul fenomenelor ca sisteme, odată cu dezvoltarea teoriei matematice a sistemelor dinamice neliniare și a aplicațiilor sale. Rezultatele obținute astfel au impresionat deopotrivă lumea științifică și publicul larg prin demonstrarea faptului că sisteme extrem de simple pot genera spontan comportamente extrem de complicate.

Teoria sistemelor dinamice (TSD) este o teorie matematică, considerată ca având o dezvoltare puternică în matematica modernă (Viana, 2000, în Gheorghiu, 2004), dar care a reușit treptat să pătrundă în diverse alte domenii ale științei, având o gamă extrem de largă de aplicabilitate. Astfel, de exemplu, o regăsim utilizată, după cum arată diverși autori, printre care și Mira (1987a), Sardar și Abrams (2002), Vallacher și Nowak (1994) și Ebeling (1989), mai ales în fizică (în principal în mecanică, în studiul turbulențelor în hidrodinamică, în optica neliniară, fizica stării solide, accelerarea particulelor, mecanica statistică), apoi în astronomie (mecanica celestă), în inginerie (pentru sistemele de comunicare și comandă), în informatică și inteligența artificială (mai ales în construirea roboților prin folosirea metodei cogniției încorporate și în prelucrarea imaginilor), în biologie (îndeosebi în cercetarea mecanismelor genetice ale ADN, în studiul ritmurilor vieții, al dezvoltării embrionare), în medicină (în studiul paternurilor ritmurilor cardiace și EEG în stările patologice, în epidemiologie), în ecologie (în studiul evoluției populațiilor și a ecosistemelor, de exemplu), în chimie (cu precădere în dinamica

reacţiilor chimice sau cinematica chimică), în meteorologie (de exemplu, studiile lui Lorenz), în ştiinţele politice (mai precis, în relaţiile geostrategice), în economie (de exemplu, evoluţia în timp a cotaţiilor la bursă, dinamica pieţelor în marketing, dinamica deciziilor manageriale, dinamica organizaţiilor), în sociologie (mai ales în studiul dinamicii de grup) şi, nu în ultimul rând, în psihologie (studiul paternurilor neuromotorii, al celor perceptuale etc.). Vallacher şi Nowak (1994) observă că, în principiu, orice fenomen din natură poate fi văzut ca un sistem dinamic, ceea ce a făcut ca, în ultimii ani, această perspectivă să apară ca o metateorie integrativă pentru diversele domenii ale ştiinţei. De cele mai multe ori, cum e şi cazul de faţă, sintagma "teoria sistemelor dinamice" este folosită în alt sens decât cel strict din matematică, ca o sintagmă generică, care acoperă o serie de subteorii sau de alte teorii conexe teoriei sistemelor dinamice. Printre acestea se numără teoria sistemelor dinamice neliniare (care se limitează la studiul sistemelor dinamice neliniare), teoria sistemelor complexe (teoria sistemelor dinamice alcătuite dintr-un număr mare de subsisteme), teoria haosului şi a atractorilor stranii (teoria care studiază proprietăţile sistemelor care tind să evolueze spre atractori stranii şi haotici), teoria catastrofelor (teoria care studiază modelele de trecere a unui sistem dinamic de la un patern al interacţiunilor dinamice la altul, adică tranziţiile de fază), teoria fractalilor (teoria care studiază obiectele geometrice cu dimensiune fracţionară numite fractali, proprietăţile acestora caracterizând, de multe ori, şi atractorii haotici), teoria structurilor disipative sau sinergetica, teoria controlului sistemelor dinamice, teoria dinamicii simbolice şi, ca teorii cu o conexiune mai puţin directă, teoria automatelor celulare (teoria care studiază comportamentul automatelor celulare), teoria algoritmilor genetici (de generare şi selecţie prin autoorganizare a unei populaţii de paternuri simbolice în cadrul unor procese rezolutive), teoria reţelelor neuronale etc. Boutot (1993/1997) numeşte toate aceste terorii ca fiind teorii morfologice, adică teorii prin care se explică şi încearcă să se prevadă apariţia formelor întâlnite în natură. Consideraţiile care urmează se referă, în principal, la teoria sistemelor dinamice neliniare (TSDN), ea fiind, de fapt, teoria principală, pe care se sprijină toate celelalte.

Răspândirea utilizării conceptelor TSDN în diverse ştiinţe poate fi explicată în diferite moduri. Pe de o parte, se poate argumenta uşor că numeroase procese fizice, chimice, biologice sau psihice pot fi modelate ca sisteme dinamice. Prin urmare, cunoaşterea proprietăţilor şi comporta-

mentului sistemelor dinamice poate facilita investigarea ştiinţifică a acelor procese. Pe de altă parte, aplicarea conceptelor TSDN permite crearea unor punţi de legătură între ştiinţe, modelele dinamice având un grad ridicat de generalitate. El reflectă nivelul profund la care se plasează explicaţiile ştiinţifice care fac apel la TSDN, implicând, adeseori, discutarea unor aspecte de natură filosofică. Acesta este şi unul din motivele pentru care, de multe ori, introducerea conceptelor şi modelelor TSDN într-o ştiinţă poate conduce la o schimbare de paradigmă în cadrul ei.

Dar, deşi TSDN este atractivă pentru cercetătorii din diverse domenii, în mare parte datorită motivelor enumerate mai sus, gradul de popularitate a conceptelor TSDN în diferite ştiinţe, deşi este în continuă creştere, este relativ scăzut faţă de potenţialul lor explicativ. În calea unei aplicabilităţi mai largi a TSDN au existat şi mai există încă o serie de obstacole. Primul dintre ele este acela că relativ puţini oameni de ştiinţă din alte domenii decât cel al matematicii sunt familiarizaţi cu semnificaţia diferitelor concepte din TSDN. Apoi, de multe ori, se consideră că pentru a folosi aceste concepte e nevoie de o aplicare strictă, pe baza sensului pe care ele îl au în matematică, ceea ce, în multe domenii ale ştiinţei, e greu de realizat. Există însă şi cercetători care susţin că poate fi utilă şi o aplicare calitativă, metaforică a acestora, care să se bazeze pe sensul lor intuitiv (de exemplu, Vallacher şi Nowack, 1994 şi Boutot, 1997). Un obstacol similar e şi acela al dificultăţii de a elabora modele dinamice numerice precise pentru diversele sisteme şi procese studiate. Dificultăţile metodologice actuale conduc la o limitare a aplicaţiilor TSDN la folosirea unor modele dinamice calitative. În plus, adoptarea unei perspective a TSDN impune o revizuire a metodelor de investigare şi de explicare a fenomenelor studiate, punându-se în evidenţă adecvarea redusă a metodei clasice experimentale în noul context (Nowak şi Lewenstein, 1994; Faiciuc, 2001). Dar metodele cerute de o abordare de tip TSDN sunt în prezent, de cele mai multe ori, greu de pus în practică, fiind necesară obţinerea unor serii temporale lungi de măsurători. Ele trebuie să îndeplinească mai multe condiţii speciale pentru a se putea realiza o analiză a datelor cu metode care să ofere rezultate foarte precise. Una dintre acestea ar fi aceea de a obţine serii staţionare, adică, după o definiţie dată de Peng, Hausdorff şi Goldberger (2000), serii pentru care media, deviaţiile standard şi momentele de ordin superior, la fel ca şi funcţiile de corelaţie sunt invariante la translaţia în timp, neexistând tendinţe de creştere sau de scădere a lor în decursul timpului. Acest lucru ar însemna că e vorba de

sisteme dinamice pentru care parametrii de control se păstrează relativ constanți, ei neavând tendința de a se schimba gradual, conducând la modificări treptate sau bruște ale legii dinamice a sistemului. Actualmente, există însă tehnici care încearcă să ocolească acest impediment, oferind căi prin care și pentru serii temporale mai scurte sau nestaționare să se poată determina, chiar dacă nu cu aceeași precizie ca în metodele clasice de analiză a seriilor temporale, în ce măsură ele sunt generate de un sistem dinamic și ce proprietăți ar avea un astfel de sistem. Multe din ele sunt însă mai greu de aplicat în practică decât cele clasice pentru că nu au fost încă incluse în pachetele de programe software destinate analizei seriilor temporale.

Scopul secțiunii de față este acela de a realiza o prezentare a conceptelor fundamentale din TSDN într-un mod cât se poate de intuitiv, astfel încât să se faciliteze înțelegerea căilor prin care TSDN poate fi aplicată la studiul fenomenelor psihice și a implicațiilor de natură metodologică și paradigmatică. De aceea, s-a apelat în cele de față doar în mică măsură la prezentarea definițiilor matematice ale conceptelor fundamentale ale TSDN, preferându-se căutarea sau formularea unor definiții care folosesc limbajul uzual. Chiar dacă astfel se pierde din rigurozitate, consider că se poate obține un câștig în aplicabilitate, formulările intuitive permițând sugestiile pentru realizarea unor analogii cu problematica referitoare la un fenomen psihic sau altul. Dacă în lucrările de până acum care au avut ca subiect aplicațiile TSDN în psihologie se realizează o trecere în revistă relativ sumară și mai degrabă selectivă a conceptelor TSDN, intenția lucrării de față a fost aceea de a răspunde nevoii unei prezentări a acestora într-o manieră mult mai sistematică și mai elaborată. Totuși, nu s-a urmărit o prezentare exhaustivă a tuturor conceptelor care apar în TSDN, ci doar a celor care s-a considerat că ar putea fi puse, la ora actuală, în legătură cu studiul fenomenelor psihice și a celor necesare pentru a le înțelege pe acestea.

Scurt istoric al TSDN

Așa cum arată Nowak și Lewenstein (1994), timp de secole, sistemele dinamice au fost folosite mai ales pentru a descrie fenomene fizice simple cum ar fi mișcarea pendulului sau revoluția pământului în jurul soarelui. Practic, conceptul de sistem dinamic își are începutul în mecanica newtoniană, când mișcarea corpurilor fizice era studiată cu

ajutorul sistemelor de ecuații diferențiale, a căror rezolvare implica aplicarea unei proceduri iterative laborioase, de cele mai multe ori prea laborioase pentru posibilitățile de calcul din acea vreme (Dynamical Systems, 2004). Newton a fost cel care a inventat ecuațiile diferențiale ca instrument de descriere a proceselor care se desfășoară continuu în timp (Robert și Roman, 1998). De altfel, termenul de "dinamic" nu se referă doar la schimbarea în timp, ci și la fenomene în care sunt implicate forțe. Între ideea de forță și cea de schimbare există o legătură strânsă. După cum observă Norbert Wiener (1961/1966), legile newtoniene sunt cele care, de fapt, leagă forța de accelerație, forța fiind, astfel, un mod de a exprima o schimbare de tip neliniar în timp.

A fost necesar ca matematicienii să definească sistemele dinamice neliniare pentru a oferi mai întâi fizicienilor aparatul matematic cerut pentru a descrie comportamentul în timp al unor sisteme fizice complexe pe care le studiau, după ce tot matematica le-a oferit instrumentul pentru a descrie mișcarea prin intermediul vectorilor, al funcțiilor derivate și al ecuațiilor diferențiale. Fizicienii s-au confruntat cu problema dificilă a combinării mișcărilor într-o singură mișcare, cu problema interacțiunii dintre mișcări. Pentru a găsi o soluție unei astfel de chestiuni era necesară rezolvarea unui sistem de ecuații diferențiale, fiecare dintre acestea reprezentând o mișcare particulară. Așa cum s-a văzut și mai sus, cu mijloacele de calcul existente în vremea începuturilor teoriei sistemelor dinamice neliniare, acest lucru nu era posibil de realizat.

Bazele propriu-zise ale TSDN au fost puse la sfârșitul secolul XIX și începutul secolului XX. Primul matematician care a contribuit substanțial la elaborarea TSDN a fost Poincaré, în 1892 (Codreanu, 2007), prin studiul calitativ al sistemelor de ecuații diferențiale. El a stabilit o nouă metodă pentru a explica mișcarea corpurilor materiale, cea a dinamicii calitative, încercând să rezolve problema celor trei corpuri (adică a orbitei a trei corpuri care se atrag gravitațional reciproc), care era importantă pentru a evalua stabilitatea sistemului solar (Boutot, 1997). În acest fel, el a descoperit că pot exista traiectorii care nu sunt nici periodice, dar nici nu se apropie sau se îndepărtează de vreo anumită stare, având un comportament neobișnuit (Chaos Theory, 2004). După cum rezumă Norton (1995) contribuțiile lui Poincaré, acesta, spre deosebire de predecesorii săi, nu a căutat o formulă pentru fiecare soluție a unui sistem de ecuații diferențiale ca o funcție de timp, prin metodele cantitative ala analizei matematice, ci a gândit aceste soluții ca reprezentând curbe și traiectorii în spațiul stare al

sistemului pentru toate momentele şi condiţiile iniţiale, simultan. Astfel, el a fost primul matematician care a propus o interpretare geometrică a acestor sisteme de ecuaţii şi care a impus conceptele de stabilitate, traiectorii periodice, recurenţă. Interpretarea geometrică, topologică, a permis o abordare calitativă a studiului sistemelor de ecuaţii diferenţiale, de găsire a unor modele generale de comportament în timp ale soluţiilor acestor sisteme, ceea ce a însemnat un pas important în facilitarea găsirii unor aplicaţii ale TSDN în alte domenii decât acela al matematicii. Alţi matematicieni care au contribuit la dezvoltarea teoriei sunt Birkhoff (1930, în Norton, 1995), care a introdus conceptul de atractor (Cinqiun, Cosnard, Demongeot şi Jacob, 1987), Kolmogorov (1950, în Norton, 1995), Smale, Arnold şi Moser (1960, în Norton, 1995), care au dezvoltat noţiunea centrală de atractor (Cinquin et al., 1987), Lorenz, Fatou şi Julia (Robert şi Roman, 1998). Totuşi, cea mai mare parte a TSDN a fost elaborată doar în ultimele decenii ale secolului XX, odată cu dezvoltarea mijloacelor de calcul. Ea a permis simularea pe calculator a sistemelor dinamice, mai ales a celor neliniare, care, în general, nu pot fi rezolvate prin găsirea unor soluţii explicite (Norton, 1995), şi calculul cu aproximaţie al soluţiilor numerice pentru sistemele de ecuaţii diferenţiale, evidenţiindu-se, astfel, apariţia traiectoriilor de tip haotic. Cea mai surprinzătoare descoperire făcută pe această cale a fost aceea că un sistem dinamic simplu, care are doar câteva elemente, poate să ajungă să aibă un comportament uimitor de complex dacă interacţiunea dintre aceste câteva elemente este neliniară.

În ceea ce priveşte cele mai importante teorii conexe ale TSDN, în cele ce urmează, se vor prezenta foarte pe scurt date legate de istoricul lor, urmând ca acestea să fie completate în secţiunile care tratează conceptele lor de bază.

Teoria catastrofelor a fost prima teorie conexă care a apărut, ea fiind iniţiată în prima jumătate a secolului XX, odată cu studiile realizate de René Thom, un matematician francez. Această teorie se preocupă de studiul modificărilor bruşte, radicale, în comportamentul în timp al sistemelor dinamice, din ca derivând ceea ce Thom a numit a fi teoria morfologică, adică o teorie despre dinamica formelor într-un spaţiu cvadridimensoinal.

Teoria haosului a fost dezvoltată în principal de Li şi Yorke (1975, cf. Codreanu, 2007), *iar cea a atractorilor stranii* de o serie de matematicieni: Lorenz (1963, conform Codreanu, 2007), Ruelle şi Takens (1971, conform Codreanu, 2007), iar *teoria fractalilor* a fost

inițiată de Mandelbrot, un matematician francez, la sfârșitul anilor șaizeci ai secolului trecut.

Legat de *teoria sistemelor dinamice complexe*, se poate aprecia că o teorie precursoare a fost cibernetica (Lucas, 1997), aceasta pentru că conceptele de feedback și control își pot găsi corespondent, după cum se va vedea mai jos, și în TSDN complexe. Heylighen și Joslyn (2001) definesc, de altfel, cibernetica ca "știința care studiază principiile abstracte de organizare în sistemele complexe" și o consideră și ei ca o precursoare a teoriei sistemelor dinamice prin studiile asupra arhitecturilor de calcul de tip von Neumann, teoria jocurilor, teoria automatelor celulare, rețelele neuronale de tip McCulloch și studiile realizate de Ashby și Foerester asupra autoorganizării. La fel ca și TSDN complexe, și cibernetica este o știință transdisciplinară, menită a oferi principii de înțelegere a funcționării sistemelor din orice domeniu, indiferent de natura componentelor, atâta vreme cât în cadrul ei se susține că se poate studia un sistem doar prin analiza relațiilor funcționale dintre componente și dintre intrări și ieșiri.

Totuși, merită remarcat faptul că în cibernetică au existat două curente de gândire. Primul este cel al cibernetici de prim ordin, de tip mecanicist și reducționist, preocupată mai mult de controlul sistemelor fizice și de rolul stabilizator al feedback-ului negativ. Al doilea, cibernetica de ordin secund, recunoaște rolul feedback-ului pozitiv. Se numește cibernetică de ordin secund, pentru că se referă la o cibernetică a relațiilor dintre sisteme cibernetice. Acest lucru înseamnă apariția procesului recursivității și a fenomenelor legate de neliniaritatea care se asociază acestei recursivități, cum ar fi circularitatea cauzală, autoorganizarea, comportamentul autonom, calitatea de agent, toate acestea fiind studiate și în cadrul TSDN complexe. Acest tip de cibernetică s-a dezvoltat însă relativ târziu, după anii '60 ai secolului trecut, chiar dacă într-o formă incipientă, implicită, ideile ei au fost prezente încă de la început. Spre deosebire însă de cibernetică, abordările de tip sistemic care se bazează pe TSDN complexe includ concepte noi, ca cele de emergență, spațiu fază, atractori etc. și se preocupă, în plus, de interacțiunea unui sistem cu alte sisteme la modul general (nu doar din perspectiva unei cuplări asimetrice, de la un sistem de comandă și control la unul de răspuns) și de modelul evoluției acestei interacțiuni în timp. Așa cum se va vedea mai jos, există și deosebiri în modul de concepere a noțiunii de sistem. Consider că o altă noutate a TSDN complexe în raport cu cibernetica este accentul pe care

TSDN îl pune pe posibilitatea existenței controlului exercitat nu de la nivelul unei entități cu instanțiere fizică, care e o componentă a sistemului, ci de la un nivel superior de organizare, fără instanțiere fizică, care apare ca urmare a emergenței, prin reorganizarea relațiilor dintre elementele componente inițiale. În același timp, e vorba și de o schimbare de accent de pe relațiile de natură ierarhică pe cele de natura heterarhică. S-ar putea spune că TSDN complexe servește ca o punte prin care principiile generale ale ciberneticii au ajuns aibă o aplicare mai concretă în diverse științe, o cale prin care ele și-au găsit o dezvoltare și o elaborare mai avansată.

Părți ale TSDN complexe au fost ulterior dezvoltate, după deceniul opt al secolului XX, sub o nouă titulatură, specifică Europei, de către doi reprezentanți de marcă: Herman Haken, un fizician german care continuă să se preocupe de aplicațiile acesteia și în domeniul psihologiei, fiind conducătorul unei școli de gândire în această privință, a *sinergeticii* (numită de Kaneko, în 1998, ca școala de la Stuttgart), și de Prigogine, un fizician și chimist belgian, care a studiat sistemele dinamice complexe ca structuri disipative, aflate la limita haosului, capabile de autoorganizare, inițiatorul așa numitului grup de la Bruxelles (Kaneko, 1998) care se ocupă de *teoria sistemelor disipative.*

Definirea noțiunii de sistem. Tipuri de sisteme.

După cum remarcă van Gelder (1998) și Mira (1987a), nu există încă o definiție unică, general acceptată pentru ceea ce este un sistem dinamic, nici în matematică, nici în celelalte științe. Definițiile diferă ca mod de abordare, ca grad de cuprindere, precum și ca grad de tehnicitate.

Înainte de a trece la prezentarea unor definiții matematice mai importante, este util să se trateze, foarte pe scurt, problematica definirii noțiunii de sistem, astfel încât, apoi, sistemele dinamice să poată fi diferențiate de restul sistemelor.

Joslyn și Turchin (1993) arată că zecile de definiții existente pentru ceea ce înseamnă un sistem reflectă, de cele mai multe ori, diferite perspective filosofice. Ei oferă pentru ilustrare o serie de astfel de tipuri de definiții. O primă definiție, considerată a fi mai mult tehnică, nu prea specifică și extrem de simplă, este cea dată de Hall și Fagan (1956, în Joslyn și Turchin, 1993). Potrivit acestora, un sistem este un set de obiecte împreună cu relațiile dintre ele. O a doua categorie de definiții identificată de autorii citați mai sus e aceea a ceea ce ei numesc definiții

antirealiste. Potrivit acestora, un sistem se defineşte în primul rând subiectiv, prin percepţiile şi distincţiile unui observator. Ilustrativă în acest sens e definiţia dată de Rosen (1979, în Joslyn şi Turchin, 1993), care consideră că sistemele sunt entităţi construite şi delimitate cognitiv, care se referă doar parţial la lucruri reale, în măsura în care se definesc pe baza acestora. Lucrurile au atribute obiective, date de proprietăţile fizice, pe când sistemele ar avea, în plus, atribute logice, subiective, care aparţin exclusiv sistemului constituit cognitiv. S-ar putea spune că sistemele sunt doar reprezentări şi nu entităţi cu realitate fizică. La graniţa dintre realism şi antirealism ar putea fi plasată definiţia dată de Norton (1995), potrivit căruia un sistem e o colecţie de părţi (elemente) relaţionate care sunt percepute ca un întreg. Percepţia e considerată a fi o reprezentare subiectivă a unei realităţi obiective şi, prin urmare, sistemul ca întreg există independent de subiectivitatea unui subiect cunoscător, dar percepţia subiectivă a întregului poate fi independentă de percepţia sau cunoaşterea relaţiilor. În plus, percepţia proprietăţilor acestui întreg, care există obiectiv, poate să fie una subiectivă: de exemplu, natura statică sau dinamică a întregului va depinde de perspectiva adoptată de un observator. Tot la graniţa dintre realism şi antirealism se plasează şi definiţia dată de van Geert (1994), un sistem fiind un set de variabile faţă de care se relaţionează un observator. În concepţia sa, e întotdeauna la latitudinea cercetătorului care observă să nominalizeze o mulţime de variabile concrete ca sistem de studiu, realitatea determinând ulterior dacă acela e, de fapt, un sistem. Practic, el întrevede posibilitatea de a defini un sistem ca o ipoteză de lucru. În plus, părerea sa, potrivit căreia sistemele sunt definite semiarbitrar, s-ar întemeia pe existenţa fenomenului cuplării despre care se va vorbi în următoarea secţiune, ca o cale de apariţie a noi sisteme dinamice, mai complexe, din care se vor putea apoi selecta subsisteme componente, după intenţiile cercetătorului. Joslyn şi Turchin îl citează şi pe Gaines (1969, în Joslyn şi Turchin, 1993) ca reprezentând o extremă solipsistă a poziţiei antirealiste, acesta afirmând că un sistem e "ceea ce e distins ca sistem".

Dezbaterea se poate extinde de la discuţia asupra statutului realităţii întregului asupra naturii realităţii părţilor şi a relaţiilor dintre ele, pentru că şi separarea părţilor şi a relaţiilor dintre ele poate fi problematică din acest punct de vedere, nu doar alegerea lor sau întregul rezultat.

În dezbaterea naturii obiective sau subiective a unui sistem, apreciez că e relevantă problematica procesului de separare şi izolare în două contexte diferite: cel practic şi cel teoretic. Mira (1987a) apreciază că

atunci când se vorbeşte de sistem într-un context concret, practic, adică atunci când sistemul este de natură fizică, chimică, biologică, psihică sau socială, sistemul desemnează o configuraţie limitată de entităţi, pe de o parte, şi, pe de altă parte, o descriere (verbală sau matematică) mai mult sau mai puţin subiectivă a unei astfel de configuraţii. Dar, pentru că e imposibil de studiat o configuraţie limitată atunci când ea e parte din întreg universul, e necesară separarea sau izolarea acestei configuraţii prin intermediul unui artificiu care presupune, de obicei, alegerea (subiectivă) a unui număr de variabile şi de parametri relevanţi unei probleme studiate şi resurselor disponibile. Când se vorbeşte însă de sistem într-un context abstract, teoretic, se presupune că se cunoaşte implicit sau explicit constrângerea de separare, aceasta nemaifiind subiectivă, ci obiectivă. În concluzie, s-ar putea spune că problema naturii obiective sau subiective a unui sistem se pune doar atunci când e vorba de un demers practic, de modelare a unui fenomen natural prin intermediul unui sistem formal, poziţia adoptată depinzând mult de natura convingerilor de ordin filosofic pe care le are cercetătorul. Dar, indiferent de această poziţie, utilitatea unui astfel de demers va putea fi justificată dacă se dovedeşte că există un câştig de ordin pragmatic sau, la nivelul înţelegerii fenomenului, dacă se foloseşte o astfel de modelare. În plus, când e vorba de sisteme care sunt folosite ca model pentru fenomene naturale, se poate spune că sistemul model cuprinde în el ca element pe observatorul însuşi, iar relaţiile acestuia cu elementele fenomenului natural participă, alături de relaţiile existente între acestea, la formarea sistemului model.

O altă categorie de definiţii, numite de Joslyn şi Turchin (1993) ca *formaliste*, sunt simple şi au un caracter ridicat de generalitate. Ele definesc sistemele, într-o formulare care exprimă în limbajul comun definiţia matematică, ca fiind o submulţime a produsului cartezian al unei familii de mulţimi. Definiţiilor formaliste li se opun cele de tip constructivist. Autorii lor critică abordarea formalistă, considerând că sistemele naturale nu vor putea fi niciodată reprezentate de sisteme formale care sunt definite pe mulţimi fixe, finite, a priori. În schimb, astfel de definiţii propun ideea unor sisteme deschise care nu au elemente predefinite, ci îşi pot crea propriile elemente prin procese emergente, putându-se automodifica.

Încercând să sintetizeze diversele definiţii ale sistemelor, Joslyn şi Turchin (1993) remarcă faptul că acestea diferă pe următoarele dimensiuni: obiectiv-subiectiv, realism-antirealism, formalism-cosntructivism şi că se pot identifica următoarele elemente comune: 1) existenţa unei varie-

tăți de entități distincte numite elemente (nu se specifică în ce măsură mulțimea acestor elemente este finită sau se păstrează neschimbată sau dacă elementele se diferențiază funcțional sau nu); 2) elementele trebuie să fie legate între ele printr-o relație (nu se specifică structura de relații, dacă conectivitatea e completă sau nu); 3) relația dintre elemente trebuie să fie suficientă pentru a genera o entitate nouă, distinctă, la un nou nivel, sistemic, de analiză. Consider că se poate introduce existența și a unui al patrulea element comun, suplimentar față de cele identificate deja de Joslyn și Turchin (1993), derivat din definiția pe care ei o dau noțiunii de sistem, prezentată mai jos. Acesta ar fi acela al proprietății închiderii, a separării, care rezultă din existența relațiilor dintre elemente și e baza apariției entității sistemice de nivel superior, având deci legătură cu cel de-al treilea element.

Potrivit autorilor citați mai sus, în conceptul de sistem se unifică mai multe seturi de distincții. Prima ar fi aceea între multiplicitatea elementelor și singularitatea întregului. A doua ar fi aceea a dependenței stabilității întregului de activitatea relațiilor între entități (consider că această distincție poate fi valabilă doar în situația în care relațiile sunt dinamice). Ultimele două ar fi între ceea ce e în sistem și ceea ce nu e în sistem și dintre sistem ca întreg și restul lumii. Ca urmare, Joslyn și Turchin (1993) ajung să formuleze următoarea definiție a unui sistem: *"un sistem e distincția dintre varietatea și stabilitatea unei închideri asupra altor multiple distincții"*. Stabilitatea întregului s-ar păstra atât timp cât multiplele distincții din închidere participă la relațiile pe baza cărora s-a format stabilitatea întregului. După cum se poate constata, o astfel de definiție încearcă să se refere deopotrivă la sistemele statice, pentru care importantă e, în primul rând, percepția întregului, și la sistemele dinamice, pentru care se adaugă și percepția stabilității. Reformulând această definiție, consider că se vorbește de sistem atunci când *multiple distincții participă pentru a crea o nouă distincție, indiferent dacă noțiunea de distincție este invocată într-un sens obiectiv sau subiectiv*. Se poate imagina situația în care distincții de ordin subiectiv pot contribui alături de distincții de ordin obiectiv la crearea unei noi distincții (fie de natură obiectivă, fie de natură subiectivă). O astfel de definiție dată sistemului poate evidenția de ce noțiunea de sistem este fundamentală pentru înțelegerea fenomenului cogniției (de altfel se și vorbește de sistem cognitiv): și cunoașterea poate fi definită ca fiind un proces prin care se formează noi distincții pe baza altor distincții. O astfel de legătură dintre ideea de sistem și aceea de cunoaștere este mai evidentă într-un alt tip de definiție a sistemului, una de tip cibernetic, dată de Markman și Dietrich (2000): sistemul e orice entitate

care foloseşte informaţie pentru a încerca să-şi satisfacă scopurile prin intermediul feedback-ului.

Cu o astfel de definiţie se face trecerea la un alt gen de abordare a noţiunii de sistem, şi anume la una mai specifică, de tip cibernetic, care se referă la sistemele deschise, aflate în contact cu mediul lor. Dar, se poate observa că aceasta nu e complet diferită sau separată de abordarea generală prezentată mai sus, dacă se ţine cont definiţia sistemului ca distincţie creată pe baza altor distincţii. La baza noţiunii de informaţie stă ideea existenţei unor distincţii, a posibilităţii de a distinge. O *definire de tip cibernetic a unui sistem* se referă mai ales la sistemele concrete şi, spre deosebire de definiţia anterioară, iniţiază o diferenţiere între elementele unui sistem, pe care le consideră a fi variabile, şi se preocupă şi de modul de relaţionare a unui sistem cu mediul în care se află. Într-un mediu în schimbare, cu care sistemul se află în contact prin elementele sale de input şi de output, se pune problema menţinerii sistemului sau a schimbării sale într-un anumit mod. Acest lucru se realizează prin intermediul a ceea ce în cibernetică se numeşte feedback, un tip special de relaţie dintre elementele sistemului, şi anume relaţia dintre elementele de input şi output, care e socotită o relaţie necesară pentru un sistem cibernetic. Cele spuse se reflectă în ceea ce Arbib (1995) apreciază că ar fi abstracţia noastră a oricărui sistem real. Ea ar conţine cinci elemente: 1) setul de inputuri, adică variabile din mediu despre care credem că vor afecta comportamentul sistemului care ne interesează; 2) setul de outputuri, adică variabile ale sistemului pe care alegem să le observăm sau despre care credem că vor afecta semnificativ mediul; 3) setul de stări, adică variabile interne ale sistemului (care pot fi sau nu variabile de output) care determină relaţiile dintre inputuri şi outputuri; 4) funcţia tranziţiei de stare, care specifică felul în care o stare a sistemului se schimbă în funcţie de input; 5) funcţia de output, care defineşte ce output va produce sistemul, dat fiind un anumit input la o anumită stare.

Se poate constata că o perspectivă cibernetică asupra noţiunii de sistem e una care ţine de observatorul unui sistem, diferenţierea dintre părţile sistemului ca input, stare şi output şi a funcţiilor de tranziţie făcându-se în funcţie de scopurile observatorului. În plus, o astfel de diferenţiere devine necesară în situaţia în care observatorul are acces doar la o parte din elementele unui sistem, adică la cele de input şi output. Elementele de stare nu sunt direct observabile (rămânând incluse în ceea ce cibernetic ienii numesc "cutie neagră"), ele fiind doar presupuse, pentru

a putea explica legătura dintre elementele de input şi output. Practic, se afirmă că pentru a cunoaşte şi, mai ales, a controla un sistem, ar fi suficient să cunoaştem în mod complet legăturile directe şi inverse dintre inputuri şi outputuri, adică dintre acele elemente care sunt accesibile observatorului.

Perspectiva cibernetică asupra sistemelor a fost cel mai mult adoptată în studiul fenomenelor de comunicare şi cognitive, tocmai pentru că cercetătorii lor au acces pentru a face observaţii şi măsurători directe doar la inputurile şi outputurile unor sisteme cognitive sau de comunicare. Prin urmare, acest tip de modelare a părut a fi cea mai potrivită. De aceea, se tinde a se echivala un sistem cibernetic cu un sistem ale cărui elemente sunt relaţionate între ele şi cu mediul prin transmiterea de informaţie. Un sistem care poate fi văzut dintr-o perspectivă cibernetică e un sistem care se caracterizează printr-o anumită dinamicitate, dată de succesiunea directă inputuri – stări - outputuri, ca o ordine temporală de apariţie a modificărilor pe care le suferă elementele sistemului, care sunt văzute ca părţi variabile, şi de succesiunea inversă outputuri – mediu – inputuri, care asigură stabilitatea sau o evoluţie direcţionată în timp a sistemului, într-un mediu schimbător. Dinamicitatea sistemului cibernetic poate fi şi una de tip constructivist, în situaţia în care outputul poate să conducă, în timp, la formarea de noi elemente pentru sistem. Totuşi, dinamicitatea unui sistem cibernetic de tip clasic este mai degrabă una limitată, pentru că, în general, acesta are nevoie de input extern pentru a se menţine activ. În absenţa acestuia, el tinde să ajungă rapid într-o stare stabilă. Pe de altă parte, un sistem cibernetic poate avea la origine un sistem formal static, cum ar fi acele sisteme cibernetice pentru care tranziţia de la inputuri la output se realizează prin operaţii din cadrul unor sisteme de calcul formale statice. Un exemplu extrem de simplu ar fi acela când avem ca input numere naturale, iar ca output un număr natural obţinut prin operaţii aritmetice asupra numerelor input, operaţii care sunt parte a sistemului static al numerelor naturale. S-ar putea spune că, în studiul sistemelor cibernetice, accentul a fost pus mai ales pe structură, pe sistemul static care stă la baza lor, şi nu pe dinamică. Chiar şi atunci când acestei dinamici i s-a acordat atenţie, s-au evidenţiat, în principal, doar modele de dinamică simplă, de evoluţie spre o stare fixă sau, cel mult, comportamente oscilatorii.

Pe baza definirii generale a sistemelor, se pot distinge mai multe tipuri importante de sisteme.

În funcție de natura elementelor din care sunt alcătuite se poate vorbi, așa cum s-a menționat deja, de *sisteme concrete* și de *sisteme abstracte*. Conform lui van Gelder (1998), sistemele abstracte nu sunt plasate în timp real, pe când cele concrete sunt situate în timp real. Cele concrete pot fi sisteme fizice, chimice, biologice, psihice, sociale sau combinații ale acestora.

Arbib (1995) detaliază o altă distincție, aceea dintre sistemele *deterministe* și cele *probabiliste (stocastice)*. El le definește pe cele deterministe ca fiind acele sisteme în care funcțiile de tranziție de stare și de output determină în mod unic noua stare și noul output prin specificarea stării inițiale și a inputurilor ulterioare. Cele de tip probabilist sunt definite de el ca fiind cele în care indiferent cât de bine s-ar specifica inputurile ulterioare, se poate determina cel mult o distribuție de probabilitate a stărilor și outputurilor viitoare.

În funcție de numărul de elemente și de relațiile dintre ele se distinge între sisteme *simple* (cu elemente care nu sunt sisteme) și cele *complexe* (care pot avea ca elemente subsisteme componente).

După natura cantitativă sau calitativă a elementelor, sistemele pot fi *cantitative* sau *calitative*.

După gradul de delimitare față de mediu și de raporturile cu acesta se vorbește de *sisteme închise* (care nu au contact de nici un fel cu mediul) și de *sisteme deschise* (care au contact cu mediul, realizând schimburi de materie, energie, informație). Sistemele închise se află în echilibru termodinamic, termodinamica clasică, în general, studiind numai sistemele închise (Tschacher, Dauwalder și Haken, 2003). Tschacher et al. (2003) remarcă însă că ele nu pot fi observate propriu-zis, pentru că orice observare ar presupune o interacțiune și, în consecință, o deschidere a sistemului. Tot ei evidențiază că, dată fiind închiderea unui sistem, se poate estima potențial probabilitatea tuturor configurațiile componentelor sale (pentru că acestea rămân neschimbate). Pentru sisteme foarte complexe, cu un număr foarte mare de componente, cum sunt cele termodinamice, doar o mică parte a configurațiilor realizabile pot fi paternuri regulate, bine organizate, restul fiind configurații neregulate sau amestecate (Tschacher et al., 2003). În consecință, după explicația dată de Tschacher et al. (2003), dacă sistemul se află inițial într-o stare caracterizată printr-o configurație ordonată, este mult mai probabil, din punct de vedere statistic, ca stările următoare să fie caracterizate prin configurații neregulate, dat fiind că acestea predomină. În acest fel, conceptul de entropie

este legat, printr-o abordare statistică, de numărul configurațiilor sau combinațiilor posibile. E de înțeles atunci legea a doua a termodinamicii conform căreia un sistem închis poate să evolueze doar în direcția creșterii entropiei, generarea spontană de ordine fiind improbabilă.

Distincția cea mai importantă din perspectiva studiului de față e aceea dintre sisteme statice și cele dinamice. După cum se va vedea, în cadrul celor dinamice se poate distinge între sisteme liniare și neliniare, sisteme continue și discrete (după natura continuă sau discretă a elementelor lor), autonome și neautonome (în funcție de prezența sau absența timpului ca variabilă dinamică în cadrul lor), omogene și neomomgene (după cum legea dinamică e constantă sau se schimbă în timp), disipative (care pierd energie) și conservative (care își păstrează energia constantă) etc.

În general, sistemele abstracte sunt sisteme de tip static, închise, iar cele concrete sunt de tip dinamic, deschise.

Mai pe larg, în lucrarea de față, se va trata doar distincția dintre sistemele statice și cele dinamice.

Sisteme statice – sisteme dinamice

Sistemele statice sunt acele sisteme în care părțile componente și relațiile dintre ele sunt fixate, constante, care nu au stări care se modifică în funcție de timp. După Robert și Roman (1998), un sistem este static dacă în relația dintre elementele lui nu se ia în considerare dacă acestea își schimbă valoarea în timp sau nu. Cele mai tipice exemple de sisteme statice sunt sistemul căilor ferate (Robert și Roman, 1998), sistemele numerice, cum ar fi de exemplu sistemul zecimal sau sistemele (limbajele) formale din logică (Norton, 1995; Gheorghiu, 2004). Un astfel de sistem formal este alcătuit ca elemente din simboluri primitive distincte, între care se stabilesc relații pe baza unor reguli fixe de combinare. Există și reguli de combinare pentru a produce noi reguli. Dar schimbarea regulilor primitive de combinare înseamnă, de fapt, un nou sistem. Pe baza regulilor de combinare se generează noi elemente compuse ale sistemului, care pot fi în număr infinit chiar, dar ele sunt considerate noi elemente și nu schimbări, variante, ale celor vechi. De asemenea, în cadrul sistemului poate fi generat, oricând, oricare dintre elementele compuse admise pe baza regulilor de combinare. Pornind de la anumite elemente primitive ca inputuri nu există, în principiu, o determinare univocă a elementelor care se pot obține ca output prin folosirea regulilor de combinare. Nu există o interacțiune a sistemului cu alte sisteme sau cu un context care să îi

schimbe modul de comportament, din acest punct de vedere ele fiind sisteme închise. Totuşi, merită menţionat că ele cer, de obicei, formularea regulilor de combinare prin simbolurile unui limbaj exterior, care nu se limitează la simbolurile primitive ale sistemului formal.

S-ar putea spune că într-un sistem static, cum e unul formal, stabilitatea (statică) este o proprietate a oricăruia din elementele sale. Există, în multe cazuri, o separare clară între elementele sistemului asupra cărora se poate opera şi elementele sistemului cu care se poate opera, în sensul că anumite simboluri primitive au rolul de operatori şi altele de operanzi. Dar operanzii sunt doar aparent elemente dinamice, ei fiind, de fapt, tot elemente statice, dar cărora regulile de combinare li se aplică diferit. Virtual, sistemul este mereu acelaşi, în interiorul său nu au loc procese, schimbări. Un simulacru de proces apare doar atunci când sistemul este folosit sau aplicat prin separarea unor elemente ale sale ca input şi utilizarea regulilor de combinare pentru a ajunge la alte elemente ale sistemului. Dar, în acest caz, dinamismul este introdus din exterior, de către un operator din afara sistemului. Nu se poate vorbi, propriu-zis, de un comportament dinamic al sistemului, în sensul că nu există o evoluţie a sa în timp. Apare doar ceva asemănător unei succesiuni, unei ordini, mai mult sau mai puţin strict determinate, a paşilor prin care se poate obţine în cadrul sistemului un anumit element ca output, plecând de la anumite elemente ca input.

În cadrul psihologiei cognitive s-a tins, prin analogie cu programele de calcul rulate pe calculatoare, ca procesele cognitive să fie modelate prin intermediul unor astfel de sisteme formale. În acest fel, dacă a existat o preocupare pentru urmărirea în timp a modului de evoluţie a unui proces cognitiv, datele obţinute au fost interpretate, în principal, prin prisma unei astfel de succesiuni necesare în cadrul unui sistem formal de a obţine un anumit rezultat. Chiar şi în cazul în care pentru anumite fenomene cognitive (cum este cel al memoriei semantice) s-au folosit modele de tipul reţelelor, cum sunt reţelele semantice (Collins şi Quillian, în Miclea, 1994), prin care se propagă activarea, astfel de reţele sunt de tip asociaţionist şi pot fi asimilate, de multe ori, unor sisteme cvasistatice. Aceasta pentru că nodurile reţelelor, ca elemente, sunt, practic, fixe, reprezentând un acelaşi concept şi, în multe cazuri, şi legăturile (arcele) dintre noduri, adică relaţiile dintre elemente, sunt fixate. Se poate schimba doar nivelul de activare a unui nod sau a unei legături, dar activarea se transmite în reţea la celelalte elemente în mod unidirecţional şi nu la toate nodurile

rețelei în mod simultan. Practic, modul său de funcționare nu permite apariția unor modele dinamice de comportament în timp. Astfel de rețele pot fi puse în lucru doar din exterior, prin activarea anumitor noduri input și, apoi, prin propagarea activării prin legături (care e similară aplicării unor reguli de combinare în sistemele formale) se ajunge la activarea altor noduri, de output. În general, toate modelele așa numitei psihologii cognitive de tipul computaționalismului simbolic se bazează pe folosirea unor sisteme formale statice, unde outputurile sunt "calculate" din inputuri pe baza unor reguli care sunt aplicate unor simboluri.

În contrast cu sistemele statice, se spune, la modul cel mai general, că *sistemele dinamice* sunt sisteme care au o stare care se schimbă în timp (Devaney, 1992, în Warren și Franklin, 1998), ceea ce ar include sisteme fizice cum sunt sistemul solar, mișcarea bilelor de biliard, până la sisteme chimice, biologice, psihice și sociale. O definiție ceva mai precisă ar fi aceea care consideră sistemele dinamice ca fiind alcătuite din elemente dinamice care interacționează reciproc, care au un comportament care evoluează în timp și care se poate schimba prin interacțiunea cu mediul din care fac parte.

O primă caracteristică ar fi aceea că *elementele din care sunt compuse sunt elemente variabile în timp*, adică elemente (simple sau compuse) care pot exista în mai multe stări sau variabile cantitative care pot lua mai multe valori. Am preferat sintagma de elemente variabile celei de variabile dinamice, care apare în definițiile matematice, pentru a păstra un grad mai mare de generalitate, astfel putându-se include sisteme dinamice mai speciale, cum ar fi cele propuse de Kataoka și Kaneko (2000), care vorbesc de dinamici ale unor rețele de relații, presupunând o dinamică a funcțiilor, și nu a variabilelor. Astfel, față de sistemele statice, sistemele dinamice aduc în discuție aspectul esențial al schimbării și al entităților existente în timp. Și în sistemele formale sunt incluse simboluri cu statut de variabile, care iau valori diferite, adică membrii diferiți ai unei clase de referenți (tot simbolici), pentru instanțieri diferite ale sistemului formal. Dar în cazul lor aceste valori nu prezintă o ordonare temporală. În cadrul unui sistem dinamic se definesc tranziții posibile între valorile unei variabile, ea căpătând astfel o structură temporală. Acest lucru nu se întâmplă în cadrul simbolurilor cu rol de variabilă în sistemele formale.

Luând în considerare caracteristica enunțată mai sus, la o primă vedere, este de presupus că astfel de sisteme ar fi reductibile la cazul sistemelor statice, pentru că stările sau valorile pe care le pot lua elemen-

tele unui sistem dinamic sunt subelemente statice, fixe. Această reducție este împiedicată din cel puțin un motiv. Un subelement nu poate fi distins față de elementul dinamic care îl include, pentru că un element dinamic este și în același timp nu este una din stările sale. Practic, un subelement se identifică parțial cu elementul dinamic, nu e total distinct de acesta. În același timp, o stare a unei variabile dinamice poate fi și în același timp nu este identică aceleiași stări a unei alte variabile dinamice și, prin urmare, ele nu sunt complet distincte, așa cum trebuie să fie elementele primitive într-un sistem static. Prin urmare, o stare a unui element dinamic nu are statutul de element al sistemului dinamic. *Noțiunea de stare e esențială pentru un sistem dinamic, fiind strâns legată de aceea de timp.* Acest lucru se justifică prin faptul că un element dinamic are un rol în sistem, putând intra în relații cu alte elemente dinamice în virtutea stării sale, ca o proprietate temporală a sa. În schimb, într-un un sistem de tip static, cum e un sistem formal, rolul elementelor în sistem e dat de forma sau poziția lor, care sunt caracteristici spațiale.

În afară de schimbare (și o serie de concepte conexe cum sunt acelea de stabilitate, instabilitate, echilibru etc.), a doua noțiune centrală în definirea sistemelor dinamice, care le distinge de cele statice, este aceea de *interacțiune*, care, în sine, e la fel de greu de definit ca și aceea de schimbare. Interacțiunea e ceea ce distinge sistemele dinamice față de cele statice în ceea ce privește relațiile care se stabilesc între elementele unui sistem. Pentru un sistem dinamic, acestea sunt relații de interacțiune. Un sistem dinamic simplu se caracterizează printr-o conectivitate totală a elementelor sale prin astfel de relații de interacțiune, astfel încât fiecare element dinamic este în interacțiune directă sau indirectă cu fiecare alt element din sistem. În sistemele dinamice complexe, interacțiunea unui element dintr-un subsistem cu elementele altui subsistem este doar indirectă, prin intermediul elementelor dinamice comune.

La prima vedere, s-ar putea încerca definirea interacțiunii ca echivalând cu rezultatul succesiunii unei acțiuni și a reacțiunii. Dar, după cum se va constata citind definițiile matematice formale ale sistemului dinamic, prezentate mai jos, nu poate fi vorba de așa ceva. Dacă tot ar fi să se descrie interacțiunea pe baza acțiunii și reacțiunii (ca răspuns la acțiune), atunci acestea nu pot fi nicidecum succesive, ci simultane. Se ajunge astfel la o formulare contradictorie, pentru că reacțiunea apare la o acțiune care nu s-a produs încă. De aceea, mai potrivit ar fi să se vorbească de o acțiune reciprocă, simultană, sau de o acțiune comună, pentru că prin

interacțiune cele două acțiuni fuzionează. Prin conectarea prin interacțiune, variația unei variabile nu mai e liberă, ci e constrânsă, dependentă de variația celorlalte. Se reduc, astfel, gradele sale de libertate, apărând posibilitatea determinării stării unui element pe baza stării altora. Pentru a evita confuziile, o formulare mai potrivită, în locul celei care are la bază acțiunea, ar putea fi și aceea de condiționare reciprocă sau intercondiționare. Se ajunge la situația paradoxală în care un element dinamic schimbă și este schimbat de un altul în același timp. Astfel, cauza și efectul nu se mai pot distinge nici spațial, nici temporal, pentru că un același element e și cauză și efect în același timp în raporturile sale cu un alt element. Activul se unește cu pasivul. Situația se complică și mai mult când în joc sunt mai mult de două elemente care interacționează. În plus, apare și o altă complicație, pentru că acțiunea reciprocă e simultană și cu acțiunea elementelor asupra lor înșeși. Ca urmare, se generează astfel o continuitate a acțiunii în care nu se mai pot distinge momentele acțiunii, care nu mai lasă loc reacțiunii. Din acest motiv, mai potrivit ar fi să se vorbească de o continuitate a schimbării. Acest lucru e valabil și în cazul sistemelor dinamice discrete, care evoluează într-un timp discret, doar că e vorba de o continuitate definită topologic pe mulțimea momentelor de timp discret. Poate de aceea, van Gelder (1998) considera că o proprietate esențială a sistemelor dinamice este continuitatea. Aceasta s-ar păstra chiar și pentru sistemele dinamice discrete, definite pe un timp discret. Atunci când se discută de continuitate, ea ar putea fi generalizată dincolo de sensul uzual, în care să nu conteze atât continuitatea timpului, cât continuitatea schimbării pe momentele de timp (indiferent dacă acesta e continuu sau discret). În plus, utilitate ar avea și noțiunea mai extinsă de continuitate, cea topologică, în care nu mai contează păstrarea prin schimbare a relațiilor de vecinătate date de distanțe, ci păstrarea doar a relațiilor de vecinătate date de structura topologică.

Ținând cont de cele spuse despre interacțiunea dinamică, se pot aduce precizări suplimentare în ceea ce privește ideea de variabilă dinamică. Pentru a diferenția o variabilă dinamică de restul variabilelor, care nu fac parte din sistem, nu e suficient să spunem că ea se poate schimba în timp, ci și că această schimbare în timp depinde de schimbarea simultană a altor variabile care fac parte din sistem. De asemenea, se impune a se sublinia că o variabilă dinamică interacționează continuu, adică în fiecare moment de timp (continuu sau discret), cu restul variabilelor dinamice din sistem. E o caracteristică care e implicit prezentă în definiția unui

sistem dinamic, dar e extrem de rar explicitată şi pusă în evidenţă, deşi de multe ori ea poate avea implicaţii semnificative în construirea modelelor de tip dinamic. De asemenea, consider că e importantă sublinierea că, prin interacţiune, variabilele dinamice nu îşi schimbă una alteia natura sau vreo proprietate statică, ci felul cum ele se schimbă în timp.

Ideea de interacţiune este şi aceea care distinge o abordare dinamică de una specifică cinematicii. Aceasta din urmă presupune un studiu al mişcării independent de forţele care o determină, ca o simplă descriere a succesiunii în timp de valori sau stări şi a relaţiilor regulate între schimbările prin care trec două sau mai multe variabile. În comparaţie cu ea, o abordare dinamică presupune nu doar studiul mişcării, ci şi al forţelor implicate şi, am putea spune, implicit, al interacţiunilor care stau la baza mişcării.

A treia proprietate esenţială a sistemelor dinamice este *recursivitatea (recurenţa)*, adică faptul că evoluţia în timp, comportamentul lor, e rezultatul aplicării recursive a unei aceleiaşi "reguli", ceea ce se numeşte *legea sa dinamică*. În cazul în care sistemul dinamic este continuu, legea dinamică se va exprima nu printr-o relaţie de recurenţă, ca în cazul sistemelor dinamice discrete, ci prin intermediul aşa numitei ecuaţii diferenţiale, în care apare relaţia dintre o funcţie şi derivatele sale. Putem privi o astfel de relaţie tot ca o formă de autoreferire. Ea îi permite să aibă un dinamism intrinsec, care nu depinde de o intervenţie exterioară. Un proces generat de un sistem dinamic se "opreşte" (nefiind vorba de o "oprire" propriu-zisă) numai când ajunge la stabilitate în virtutea propriului dinamism, neputând fi oprit în mod arbitrar din exterior. În cazul unui sistem dinamic se vorbeşte de stări nu doar în ceea ce priveşte variabilele dinamice, ci şi cu privire la întregul sistem. Starea sistemului e dată de stările tuturor variabilelor dinamice din care acesta e compus la un moment dat. Legea dinamică despre care s-a vorbit mai sus e o lege care se defineşte pe aceste stări ale sistemului. Ea are la bază interacţiunea dintre variabilele dinamice, fiind legea după care o stare a sistemului la un moment dat determină starea sa în următorul moment de timp. Printr-o astfel de lege unică este posibilă sinteza comportamentului foarte complex al unui sistem. Ea ar putea fi văzută ca fiind similară regulilor existente în sistemele statice. Dar, dacă în cazul acelora, e vorba de reguli care se aplică câtorva elemente ale sistemului pentru a ajunge la alte elemente ale sistemului, în cazul sistemului dinamic regula se aplică simultan tuturor elementelor sistemului pentru a schimba simultan starea acestora, astfel

obținându-se și o nouă stare a sistemului. În plus, existența unei legi dinamice, a unei reguli de tranziție unice de tip recursiv, face ca identitatea sistemului să decurgă nu din constanța valorilor unor proprietăți, ci din continuitatea unei schimbări, adică ar fi vorba de constanța unei dinamici.

Date fiind cele de mai sus, se pune problema dacă, în ce măsură și cum, totuși, un sistem dinamic ar putea fi redus la unul de tip static.

Răspunsul, la modul cel mai general, ar fi că un sistem dinamic poate fi redus, în mod artificial, la un sistem static, dacă nu mai sunt păstrate ca elemente în sistem elementele dinamice, ci doar stările sistemului ca întreg, schimbarea din sistem fiind interpretată ca substituție de astfel de elemente. Legea dinamică ar fi văzută ca reprezentând o mulțime de reguli diferite pentru fiecare tranziție posibilă între stările sistemului. Astfel, traiectoria în timp a sistemului ar fi considerată ca fiind o combinație generată prin reguli pe baza elementelor unui astfel de sistem static, reprezentând un nou element al sistemului. Dar, în cele mai multe cazuri, mai ales când comportamentul ar fi de tip haotic, ar fi imposibil să se găsească un set limitat de reguli care să permită descrierea comportamentului în timp al sistemului dinamic ca fiind o succesiune de generare de noi elemente ale unui sistem static prin reguli de combinație. O asemenea reducție ar fi mai ușoară în cazul unui sistem dinamic care evoluează într-un timp discret, în care stările sistemului s-ar putea interpreta ca simboluri primitive, iar legea dinamică ca fiind o regulă de substituție sau asociere pentru aceste simboluri. Un demers oarecum similar s-a încercat de câțiva teoreticieni (în mare parte cercetători în domeniul inteligenței artificiale) care au studiat posibilitatea de a defini limbaje formale pentru a descrie traiectoriile sistemelor dinamice, intenționând să creeze ceea ce se numește o dinamică simbolică (Morse, 1921, în Selz și Mandell, 1994). Dinamica simbolică e considerată de Selz și Mandell (1994) ca fiind o "abordare algebrică în etichetarea și ordonarea orbitelor generate prin sisteme dinamice". Pentru că păstrează proprietatea de ordonare a orbitelor, dinamica simbolică e văzută de acești autori ca o cale de a descrie comportamentul în timp al sistemului la o scară mai puțin rafinată. Ea presupune, de fapt, o partiționare a spațiului stare într-un număr finit de partiții și asocierea unui simbol diferit fiecărei partiții. Astfel se obține o traiectorie simbolică pe baza secvenței (care poate fi infinită) de simboluri corespunzătoare partițiilor vizitate de o traiectorie dinamică (Williams, 1991). E vorba mai mult de o metodă de descriere și codare a traiectoriilor. Dar, în acest caz nu se realizează o

reducere propriu-zisă a sistemului dinamic la unul static, ci se creează un sistem static pe baza sistemelor dinamice, cu scopul de a uşura descrierea alurii generale a traiectoriilor. Referenţii "simbolurilor dinamice" nu sunt însă stările sistemului dinamic, ci mulţimi de stări, ceea ce permite o simplificare a reprezentării comportamentului în timp al unui sistem dinamic în raport cu reprezentările geometrice din spaţiul stare sau spaţiul fazelor. Un astfel de demers e util mai ales ca metodă de analiză a seriilor temporale de date, după ce acestea au trecut printr-un proces de discretizare (Daw, Finney şi Tracy, 2002), în special în cazul în care nu se dispune de instrumente de măsură foarte precise sau seriile temporale sunt scurte sau nestaţionare. O variantă ar fi aceea în care "simbolurile dinamice" reprezintă paternuri care pot să apară în general în traiectoriile sistemelor dinamice, exploatând regularităţile topologice, de formă, ale traiectoriile diverselor sisteme dinamice studiate. Un demers aparent înrudit acestei variante este şi acela prin care s-a încercat întemeierea unor logici dinamice, prin exploatarea dinamicităţii inerente a proceselor de raţionament şi formalizarea ei, ceea ce presupune postularea unor reguli temporale de tranziţie care înlocuiesc regulile de inferenţă. Astfel de logici dinamice au fost propuse, de exemplu, de către Engelfriet şi Treur (1995) şi van Ejik (1994). În acest caz, e vorba, însă, de trecerea de la un sistem formal static la unul tot static, chiar dacă acesta din urmă se doreşte a descrie un presupus proces dinamic, cel al raţionamentului logic. Demersul nu e unul de modelare dinamică propriu-zisă, pentru că lipseşte recursivitatea în aplicarea regulilor de tranziţie, o caracteristică esenţială pentru orice sistem dinamic.

Pe de altă parte, s-ar putea crede că e posibilă o reducţie a sistemelor dinamice la cele statice formal-simbolice în virtutea faptului că definiţiile matematice date sistemelor dinamice se fac folosind limbajul matematic, care e un limbaj formal, de tipul unui sistem static. El oferă însă doar o descriere a lor pe această cale, nerealizându-se o reducere propriu-zisă. În plus, regula de tranziţie invocată are caracter recursiv, nu combinatorial. Un alt posibil argument în favoarea reducţiei despre care s-a vorbit mai sus ar putea fi acela că e posibilă simularea comportamentului sistemelor dinamice reale, cu variabile continue, prin intermediul folosirii unor sisteme de calcul formale, de tip static, digitale. Dar e vorba doar de o simulare aproximativă (comportamentele haotice nu pot fi simulate niciodată perfect) şi, în plus, sistemul de calcul e implementat într-un sistem fizic, aşa numitul hard al calculatorului, care este un sistem dinamic fizic.

Din cele spuse mai sus, s-ar putea infera că e posibilă "traducerea" unui sistem dinamic în unul static, demers care are la bază posibilitatea de a da o interpretare spațială timpului (posibilitate exploatată și în reprezentarea geometrică într-un spațiu al stărilor a comportamentului unui sistem dinamic), dar acest lucru nu înseamnă că e vorba și de o reducție în același sens.

Rezumând, se poate conchide că un *sistem dinamic este un sistem alcătuit din elemente dinamice (care au mai multe stări care se schimbă în timp), toate fiind legate între ele în mod reciproc prin relații de interacțiune, ceea ce determină ca sistemul să aibă un comportament în timp definit printr-o lege dinamică care se aplică recursiv, schimbarea acestuia provenind astfel din interiorul său.* Se impune observația că pentru a se vorbi de sistem dinamic este suficient să existe cel puțin un element dinamic și o lege dinamică care să specifice evoluția sa în timp (a se vedea exemplul de mai jos al aplicației logistice discrete), condiția interacțiunii fiind valabilă doar pentru cazurile cu mai mult de un element dinamic.

Sisteme dinamice neliniare – sisteme cibernetice

După distingerea sistemelor dinamice neliniare în raport cu sistemele statice, rămâne de evidențiat prin ce se diferențiază ele în raport cu cele cibernetice, sisteme care au un anumit grad de dinamism și cu care, în anumite contexte specifice, pot ajunge să se confunde.

În primul rând, în comparație cu variabilele care apar în sistemele cibernetice, unde se face o distincție clară între variabile input și cele output, se observă că această distincție nu este atât de clară într-un sistem dinamic, mai ales pentru unul simplu. Wiener (1961/1966) arată că relația input-output este "o relație consecutivă în timp și implică o ordine trecut-viitor definită". Dar într-un sistem dinamic simplu, toate variabilele unui sistem dinamic pot fi considerate simultan ca fiind variabile de input și de output, pentru că aceeași variabilă se schimbă pe ea însăși și pe toate celelalte, în mod simultan. Mai ales în cazul unui sistem dinamic continuu (în care variabilele dinamice sunt continue), interacțiunea face ca să nu se poată vorbi de o succesiune în timp, ci mai degrabă de simultaneitate în influența reciprocă dintre elementele dinamice ale sistemului. În același timp, starea sistemului la un moment dat, adică valorile tuturor variabilelor sale la acel moment, este input pentru schimbarea ei însăși, provocând

modificări ale aceloraşi variabile, care pot fi privite, de această dată, ca variabile de output. O stare la un moment dat este interpretabilă ca input pentru legea dinamică a sistemului, care va da o nouă stare a sistemului ca output. Dar nu ar fi o relaţie dintre input şi output tipică, la fel ca în sistemele cibernetice, pentru că outputul în acestea nu se transformă, nu devine în mod obligatoriu input, în cadrul legăturii de feedback, după aceeaşi funcţie ca şi cea prin care inputul se transformă în output, aşa cum se întâmplă pentru un sistem dinamic. Se va vorbi în acest caz de input şi output numai la modul cel mai general, ca atunci când se introduc valorile argumentelor unei funcţii pentru a afla valoarea corespunzătoare imaginii sale. În plus, aşa cum sesiza Gergen (1994), într-un sistem a cărui configuraţie se schimbă continuu este greu să se precizeze când o configuraţie s-a terminat şi alta a început, ceea ce înseamnă că apariţia continuităţii în schimbare face inutilă orice distincţie dintre input şi output. De fapt, noţiunea de output este ambiguă în acest context: output poate fi şi starea imediat următoare sau tot ceea ce se întâmplă până la un nou input sau cum va evolua sistemul în continuare la infinit (ţinând cont că starea prezentă determină în mod unic traiectoria viitoare a sistemului în absenţa influenţelor exterioare) sau starea stabilă, atractoare, la care ajunge sistemul ca urmare a inputului, sau, aşa cum se va vedea mai jos, schimbarea modelului comportamental în timp, ca efect al schimbării unui parametru exterior.

Dificultatea de a distinge între input şi output evidenţiază astfel o calitate a sistemelor dinamice care explică de ce sunt ele atât de des invocate în abordările de tip holistic (care decurge, după cum se va vedea, şi din proprietatea unui sistem dinamic de a realiza o interconectivitate completă a elementelor sale). Sistemul dinamic descrie, de fapt, o situaţie paradoxală, cu adânci implicaţii filosofice, în care variabilele dinamice sunt distincte şi, în acelaşi timp, se confundă, în funcţie de perspectiva aleasă. Această stare de fapt ar putea sugera o interpretare posibilă a sistemelor dinamice mai puţin convenţională, conform căreia întregul, sistemul, are prioritate ontologică în raport cu elementele sale, la fel ca în psihologia gestaltistă. Elementele dinamice ale sistemului ar fi interpretate atunci ca proiecţii ale unei entităţi dinamice pe coordonatele unui spaţiu multidimensional prin intermediul căruia se încearcă reprezentarea sa. În acest caz, interacţiunea nu ar mai fi un proces real, o relaţie reală, ci un termen pentru a descrie simultaneitatea schimbărilor care se înregistrează la nivelul proiecţiilor pe dimensiunile selectate de un observator. Sistemul

dinamic nu emerge atunci din interacțiuni, el existând înainte de a exista elementele. Cu alte cuvinte, s-ar putea spune că elementele sistemului dinamic și relațiile dintre ele sunt percepute doar subiectiv, ca rezultat al unui artificiu, el nefiind decompozabil în mod obiectiv. Pentru un sistem cibernetic nu ar fi posibilă o astfel de interpretare, în acesta elementele de input și output, relațiile dintre ele considerându-se a fi reale, obiective, existența lor fiind necesară pentru constituirea sistemului. O interpretare oarecum similară ar fi aceea în care sistemul dinamic poate fi privit ca o modalitate de a descrie modul de schimbare a unei variabile multidimensionale, care are o realitate ontologică dincolo de aceea a dimensiunilor spațiului în care e încorporată, prin intermediul acestor dimensiuni.

În mod arbitrar sau în funcție de anumite scopuri practice, se pot urmări în mod separat anumite variabile ale sistemului ca fiind de input și altele ca fiind de output, caracterizând comportamentul sistemului în întregul său. În plus, folosirea variației în timp a unei singure valori ca output pentru a caracteriza comportamentul întregului sistem este un demers justificat și din punct de vedere matematic. S-a dovedit (după cum se va vedea mai jos) că din comportamentul în timp al unei singure variabile se poate deduce (în absența schimbărilor parametrilor din mediu) comportamentul în timp al întregului sistem. Este o proprietate care este foarte importantă din punct de vedere pragmatic, în modelarea dinamică a unor fenomene reale fiind suficiente măsurătorile unei singure variabile ale sistemului studiat. În sistemele cibernetice nu există această posibilitate, în cazul lor comportamentul sistemului fiind definit doar prin cunoașterea deopotrivă a variabilelor de input și de output și a legăturii dintre ele.

Pentru a exprima în termeni cibernetici un sistem dinamic s-ar putea admite și că, de exemplu, relația de interacțiune dintre două variabile dinamice poate fi descrisă ca un ciclu de feedback, stabilind în mod arbitrar că, în cadrul acelui ciclu, una din variabile e de tip input și cealaltă de tip output. Astfel, se impune o anumită direcție de parcurgere a ciclului, care nu există, de fapt, într-o relație de interacțiune. În aceste context, un sistem dinamic ar fi un sistem cibernetic în care între toate elementele sale există cicluri de feedback. Pentru TSDN însă, față de o abordare cibernetică tradițională, e importantă specificarea cantitativă a acestor relații de feedback (nu doar simpla constatare a prezenței lor) și a modelelor comportamentale de evoluție în timp care pot emerge pe baza lor. Pe deasupra, față de un sistem cibernetic tradițional, sistemul dinamic are, în afara ciclurilor de feedback prin care elementele se influențează reciproc, bucle prin care fiecare element se influențează direct pe el însuși. La un alt nivel

de analiză, la fel, reîntoarcerea unui sistem dinamic în regiunile atractoare, adică spre acele stări în care el are stabilitate, după ce a fost destabilizat de o perturbație externă, poate fi interpretată în termeni cibernetici ca fiind un efect al relațiilor de feedback dintre elemente, prin analogie cu realizarea unor stări specificate ale outputului unui sistem de tip cibernetic, în ciuda perturbațiilor, prin intermediul feedback-ului.

Totuși, merită subliniat că și în cazul sistemelor dinamice este posibilă o distincție clară între input și output, dacă acestea ar primi o altă interpretare, alta decât aceea că inputul și outputul trebuie să fie elemente diferite în cadrul sistemului. O astfel de nouă interpretare ar considera ca input pentru sistem schimbarea valorilor parametrilor de control, adică a constantelor care apar în definirea relațiilor dintre variabilele dinamice, și ca output modificarea modelului de comportament în timp al sistemului. Dar, în acest caz, nu va mai apărea o influență a outputului asupra inputului, printr-un ciclu de feedback, ca în sistemele cibernetice, decât în cazul cuplării bidirecționale a sistemului dinamic cu mediul său, după cum se va vedea mai jos. Chiar și atunci, însă, parametrul de control exterior, care se schimbă în funcție de starea sistemului, devine practic o nouă variabilă dinamică a sistemului, e înglobat în sistem. Astfel, el nu va mai putea fi definit ca având un statut clar de input sau output. La cele spuse, se poate adăuga și observația făcută de Vallacher și Nowak (1994) că parametrii de control ai unui sistem dinamic nu sunt un input propriu-zis, pentru că acesta este nespecific, nedeterminând în mod specific outputul. Și perturbațiile exterioare ar putea juca rolul de input pentru un sistem dinamic, adică de factori externi care determină schimbarea condițiilor inițiale, a stării inițiale, de la care își începe evoluția în timp un sistem dinamic. Outputul ar fi, în mod corespunzător, schimbarea de traiectorie rezultată. Nici în acest caz însă, outputul nu va influența printr-un ciclu de feedback inputul. Ținând cont de cele menționate anterior, se întrevede posibilitatea ca, prin intermediul noțiunii de cuplare dinamică unidirecțională între sisteme dinamice, sistemele cibernetice de prim ordin să poată fi reduse la sisteme dinamice complexe, elementele de input fiind reprezentate de sistemele dinamice de control din cadrul cuplărilor unidirecționale, iar sistemele dinamice de răspuns ar fi cele care generează outputul. Condiția ar fi ca aceste sisteme dinamice de input și de output să fie, la rândul lor, cuplate unidirecțional cu sistemul mediului comun dinamic, pentru a putea exista un feedback, adică o cuplare bidirecțională a întregului sistem cu cele din mediu. În situația în care

cuplările între sisteme dinamice vor fi bidirecționale, s-ar ajunge la așa-numitele sisteme cibernetice de ordin secund care sunt asimilate sistemelor dinamice complexe, locul unde cibernetica și TSDN s-au întâlnit, ajungând să se confunde.

O altă interpretare posibilă a noțiunilor de input și output în cadrul sistemelor dinamice ar putea fi aceea prin care valorile variabilelor dinamice la un moment dat, adică starea sistemului la acel moment, sunt considerate input, iar outputul va fi tendința de schimbare a acelei stări (pentru sistemele care evoluează în timp continuu) sau viitoarea stare a sistemului la momentul de timp ulterior (pentru sistemele care evoluează în timp discret). Nici în acest caz însă nu ar exista însă o separare clară a inputului de output, ca elemente distincte ale sistemului, care își păstrează acest statut.

Chiar și în cazul în care s-ar folosi pentru descrierea unui sistem dinamic termeni clasici din cibernetică cum sunt cei de input, output și feedback, așa cum s-a văzut mai sus, poate fi evidențiată, în continuare, o distincție suplimentară față de sistemele cibernetice clasice. În acestea din urmă, după cum sunt descrise în mod tradițional, chiar și atunci când în cadrul lor se pun probleme de natură dinamică, outputul e considerat a surveni după apariția inputului. Ambele au o durată limitată, în sensul să elementele de input și cele de output se întorc, după un timp, la o stare de repaus, considerată a fi de inactivitate, statică, până când un nou input extern apare. Variabila de input este schimbată, în timp ce variabila de output "așteaptă" în mod pasiv schimbarea, "reacționând" la aceasta, prin feedback, doar după ce ea s-a produs. Nu există, deci, un dinamism intrinsec, care să se desfășoare în absența unui input extern. În plus, pentru ca să apară sau să se mențină răspunsul, nu e nevoie ca inputul să persiste. În sistemele dinamice, în schimb, inputul se transformă direct și continuu în output. Ele nu sunt succesive, ci simultane. La baza sistemelor dinamice nu stă ideea că variabilele se pun reciproc în mișcare, ci că ele sunt toate, oricum, în mișcare perpetuă, pentru că natura lor e dinamică, rămânând ca prin interacțiune să-și influențeze reciproc modul de a se schimba. Poate să apară impresia unei succesiuni de tip input-output numai pentru că noul model temporal de comportament, care apare prin schimbarea inputului, cere un interval de timp pentru a fi identificat de către un observator, pe când schimbarea parametrilor externi poate fi înregistrată imediat. Dar, pentru ca acel model temporal să continue să existe, e nevoie ca inputul inițial să se păstreze, să persiste pe toată durata

outputului, a răspunsului. Chiar şi în situaţia în care comportamentul sistemului dinamic nu se mai schimbă la un timp după apariţia inputului, acest lucru nu înseamnă că elementele sistemului au devenit inactive, că şi-au pierdut dinamismul. Ele nu se întorc niciodată la o stare de repaus, pentru că nu pot fi niciodată în repaus. Sistemul a ajuns doar să dobândească stabilitate în comportamentul său, elementele sale continuând să rămână active, să interacţioneze. Practic, apariţia unui model comportamental stabil ar putea fi considerat răspunsul unui sistem dinamic, ceea ce pentru un sistem cibernetic ar însemna tocmai revenirea la starea de repaus după un răspuns. Răspunsului din sistemul cibernetic i-ar corespunde traiectoriile de tranziţie instabile.

Din cele expuse mai sus, se poate conchide că noţiunea de sistem cibernetic diferă de cea de sistem dinamic, chiar dacă există anumite suprapuneri şi corespondenţe. E de apreciat că, cel mult, modelele bazate pe TSDN şi cele de tip cibernetic pot fi folosite pentru a descrie aceleaşi procese şi fenomene naturale, dinamice, dar din perspective diferite, cu o terminologie în mare parte deosebită, cu alte perspective de a fi utilizate în practică. Gradul lor de apropiere depinde de interpretarea particulară dată unor termeni cibernetici specifici cum sunt cei de input, output sau feedback. Cibernetica e în mod tradiţional văzută a fi o teorie care studiază procesele de control, reglare şi comunicare, pe când TSDN se preocupă mai ales de modelele posibile de evoluţie temporală a sistemelor dinamice, indiferent de natura lor (dacă sunt de control sau comunicare). Există însă şi definiţii relativ timpurii ale cibernetici care au apropiat-o mai mult de TSDN, Klaus (1962) considerând-o, de exemplu, ca o teorie a sistemelor dinamice care se autoreglează, el întrezărind şi o legătură strânsă între feedback şi conceptul de interacţiune. Poziţia sa derivă dintr-o interpretare atipică a noţiunii de feedback, care ignoră o caracteristică esenţială a sa subliniată de alţi cibernetic ieni: existenţa unei succesiuni în timp între input şi output, pe când în interacţiune e vorba de simultaneitate. În plus, el vorbeşte de input şi output deopotrivă pentru a caracteriza relaţia dintre variabilele dinamice şi pentru a denumi ca input influenţele din mediu care se exprimă prin schimbarea parametrilor de control, ceea ce conferă ambiguitate termenului de input. Limitele modelării prin utilizarea sistemelor cibernetice, aşa cum au fost gândite ele iniţial, au fost evidenţiate de însuşi Norbert Wiener (1961/1966), declarat a fi întemeietorul cibernetici. El arată că "Fenomenele de *feedback* simple, liniare, a căror studiere a jucat un rol atât de important pentru a

atrage atenţia savanţilor asupra studiilor cibernetice, se dovedesc acum a nu fi atât de simple şi liniare cum apăruseră prima oară." (p. 8). El atrage astfel atenţia asupra importanţei relaţiilor neliniare, care apar atunci când outputul se transformă direct în input, ceea ce echivalează cu o relaţie multiplicativă de tip neliniar în descrierea relaţiilor dintre componentele unui sistem. La fel, azi se vorbeşte de *feedback neliniar* în cazul sistemelor complexe când un parametru de ordine influenţează starea componentelor care l-au determinat în primul rând (Kelso, 2003). Dar, datorită limitelor metodologice, generate de insuficienţa instrumentelor matematice disponibile la acea vreme pentru a analiza comportamentul sistemelor neliniare, cibernetica nu s-a dezvoltat în direcţia sugerată de Wiener (1961/ 1966), sistemele neliniare fiind considerate "cutii negre". Wiener (1961/ 1966) pleda încă de pe atunci ca maşinile inteligente să fie astfel construite încât "schiţele proiectantului" să fie "înlocuite printr-un proces mai puţin specific, dar prin care sistemul are proprietatea de autoorganizare", deziderat care nici astăzi nu a fost atins. El îşi susţine poziţia cu argumente care fac apel la date de ordin neurofiziologic, care au fost însă zeci de ani ignorate. Astfel, el ţine să menţioneze că creierul nu este un "analog complet" al maşinilor de calcul existente, ci doar al unui "singur ciclu de funcţionare" al unor astfel de maşini. De asemenea, el arată că noţiunile de inhibiţie şi de iradiere "sunt prin natura lor mai degrabă multiplicative decât aditive" (p. 45), deci inductoare de neliniaritate, inhibiţia totală însemnând multiplicarea cu zero, iar cea parţială cu un număr subunitar. Acest lucru ar face mai potrivită abordarea neliniară a acestor procese, la fel ca şi a celor sinaptice, despre care arată că sunt în esenţă neliniare. Wiener ar putea fi considerat şi un precursor al teoriei sistemelor disipative, el afirmând că o "variabilitate accidentală" poate fi "convertită printr-un proces dinamic într-o schemă de dezvoltare care are o singură direcţie" (Wiener , 1961/1966, p. 73).

Definiţii din literatura de specialitate ale sistemelor dinamice

După ce în secţiunile anterioare s-au evidenţiat aspectele esenţiale în definirea unui sistem dinamic (elemente variabile, interacţiunea, lege dinamică recursivă) şi s-a propus o definiţie sintetică a acestuia, în secţiunea de faţă se va extinde şi detalia prezentarea proprietăţilor sistemelor dinamice. În acest scop, se vor enumera diverse definiţii intuitive sau

formale care pot fi întâlnite în literatura de specialitate, în cadrul cărora pot să apară termeni care vor fi definiți mai pe larg doar în următoarea secțiune, cea privitoare la concepte fundamentale ale TSD. Ele au fost alese pentru că sunt ilustrative (părțile pe care le-am considerat cele mai semnificative, care le individualizează, vor fi subliniate cu italice) și, în același timp, vor putea servi unei comparații cu definiția propusă mai sus. Față de ele, aceasta ar prezenta avantajul unei formulări mai cuprinzătoare și mai sistematice, care urmărește structura definiției unui sistem în general, permițând astfel o paralelă cu modul de definire a sistemelor statice. Dezavantajul ei ar fi acela că are un grad ridicat de generalitate, fiind necesară completarea cu aceste definiții suplimentare, care să prezinte și aspecte mai particulare ale sistemelor dinamice.

Înainte de a prezenta diferitele definiții despre care s-a vorbit mai sus, e importantă menționarea unei distincții pe care Voinea și Stroe (2000) o fac cu privire la modul în care sistemele dinamice pot fi caracterizate. Astfel, autorii citați remarcă faptul că un prim tip de definiții ale acestora pun accentul pe comportamentul intern, prin descrierea sistemului în "limbajul spațiului stărilor", reprezentând o abordare similară celei de tip newtonian. Un al doilea tip are, în schimb, un caracter mai mult operatoriu, punând accentul pe "comportamentul intrare-ieșire", adică pe analiza funcțională, putându-se spune că reprezintă o abordare mult mai apropiată de cea cibernetică. Cele două modalități de definire sunt, însă, de multe ori, echivalente după părerea celor doi autori. Putem să observăm totuși că, ținând cont de observațiile din secțiunea corespunzătoare precedentă, limbajul de tip cibernetic, mai ales al ciberneticii de prim ordin, nu e pe deplin adecvat pentru a descrie comportamentul oricărui sistem dinamic.

Primul set de definiții ale sistemelor dinamice care au fost selectate din literatura de specialitate cuprinde definiții cu un caracter intuitiv, care vor fi citate într-o formulare foarte apropiată de cea dată de autorii lor. Unele din ele vor fi prezentate împreună cu comentariile conexe făcute de aceștia.

- Un sistem dinamic real e *orice obiect care se schimbă în timp* (Giunti, 1995). E un exemplu de definiție în care se dă sensul cel mai general al unui sistem dinamic.
- Beer (2000) îl definește la modul informal ca "un obiect matematic care descrie în mod neambiguu modul în care starea unui sistem evoluează în timp" (p. 92).

• Norton (1995) defineşte şi el, la modul general, un sistem dinamic ca fiind unul care îşi schimbă starea în timp. Apoi specifică faptul că un *sistem dinamic matematic* este alcătuit din "*spaţiul tuturor stărilor posibile ale sistemului împreună cu o regulă numită dinamică pentru a determina starea din viitor care corespunde stării prezente*" (Norton, 1995, p. 45).

• La fel ca şi în definiţia de mai sus, un alt autor, Meiss (2003), pune accentul pe caracterul unui sistem dinamic de instrument matematic abstract folosit pentru modelarea proceselor reale. Astfel, în concepţia sa, un sistem dinamic e format dintr-un *spaţiu stare abstract, pe coordonatele căruia starea sistemului e specificată*, şi o regulă dinamică, prin care se determină tendinţa de schimbare a tuturor variabilelor de stare în viitorul apropiat, *exclusiv pe baza valorilor prezente ale acestora*.

• Potrivit lui Elman (1998), un sistem dinamic ar putea fi "un sistem care se schimbă în timp după o regulă legică". Dar, în concepţia sa, conform unei astfel de definiţii, doar puţine lucruri nu ar fi sisteme dinamice, putându-se include în categoria lor chiar şi sistemele de calcul digitale. De aceea, el susţine că, pentru a fi util în practică, sistemul dinamic ar trebui definit prin două condiţii suplimentare, aceea ca *elementele sale să aibă stări*, iar acestea să fie legate împreună. Ele ar fi suficiente pentru ca teoria sistemelor dinamice, ca un *formalism matematic, să poată servi în caracterizarea tipurilor de schimbări care apar în sisteme*.

• Un sistem dinamic e un *set de funcţii* (reguli, ecuaţii) definesc modul cum variabilele se schimbă în timp. Ecuaţiile (regulile) specifică modul în care se calculează noile valori *în funcţie de valorile lor curente şi parametrii de control* (Clayton, 1997a). S-ar putea spune că acest gen de definiţie tinde să indice că noţiunea de sistem dinamic e un fel de generalizare a celei de funcţie, ca sistem de funcţii.

• Poccia (1999) dă sistemului dinamic două posibile definiţii scurte, oarecum atipice: un sistem dinamic poate fi un *spaţiu de configuraţii* sau o *regulă prin care se poate genera un spaţiu de configuraţii*. Trebuie să se adauge specificarea că e vorba de configuraţii ale unui spaţiu şi de *definirea unei transformări pe un spaţiu*, astfel încât configuraţia sa să se schimbe.

• Pentru Jordan (1996), dinamica se referă la o *ecuaţie care leagă forţele sau tensiunile de mişcare* (cum ar fi de ex., acceleraţiile). În acelaşi timp, el crede şi că termenul de dinamică poate fi folosit într-un sens mai larg decât cel din tradiţia mecanicii, făcând referire la orice

model matematic care specifică evoluția în timp a sistemului, dinamica lui, *fără a include forțe, tensiuni sau vreo noțiune legată de cauzalitate*. De aceea, multe modele ale sistemelor sunt, după părerea sa, pur și simplu modele descriptive ale evoluțiilor temporale ale unui set de interrelații de variabile.

• Vallacher și Nowak (1994) definesc sistemul dinamic ca un set de elemente, *cu un grad de închidere variabil*, care interacționează în modalități complexe, adesea neliniar, pentru a forma *paternuri coerente*. Se pune, deci, accentul pe existența posibilității determinării unui model temporal în comportament pentru a se putea vorbi de un sistem dinamic.

• Schroeck (1994) consideră că, tehnic vorbind, un sistem dinamic e *un sistem a cărui dinamică e cunoscută* și că există sisteme dinamice, cum sunt *cele discrete, care poartă numele generic de sisteme dinamice în mod impropriu*, doar datorită uzanțelor, plasându-se, prin urmare, pe aceeași poziție ca și van Gelder (1999) și Dietrich (1999).

• Newtson (1994) definește sistemul dinamic ca un set bine delimitat de variabile care prezintă *o anumită stabilitate în timp în interrelațiile lor*. Această definiție evidențiază o problematică importantă, dar mai puțin discutată, aceea a delimitării unui sistem dinamic și în timp, nu doar prin componența sa, implicând o unitate care provine din păstrarea modului de schimbare și nu doar a elementelor.

• Martin (1997) oferă mai multe definiții care diferă ca accent: 1) orice sistem care se schimbă în timp poate fi reprezentat doar prin *stocuri* (niveluri sau ceea ce mai sus s-a numit a fi stări) și *fluxuri* (de intrare și ieșire), care reprezintă rate de modificare a nivelurilor; 2) un sistem dinamic e o colecție de elemente care interacționează continuu de-a lungul timpului pentru a forma un întreg unificat; 3) un sistem dinamic e un sistem în care variabilele interacționează pentru a *stimula* schimbările în timp. În prima dintre definiții, foarte apropiată de una de tip cibernetic, autorul citat distinge între o parte statică (stocurile) și una dinamică (fluxurile) în cadrul sistemului. În ultimele două evidențiază rolul interacțiunii în determinarea schimbării continue și a delimitării sistemului.

• Van Gelder (1998) apreciază că un sistem, în general, este o mulțime de variabile interdependente, diferențiind apoi între *sistemele dinamice concrete*, în care variabilele sunt "trăsături ale lumii reale care se schimbă în *timp real* după legi naturale" și *sistemele dinamice abstracte*, în care variabilele sunt abstracte și ele sunt "guvernate de reguli matematice". Autorul citat observă că definițiile vechi ale sistemelor dinamice

aveau o cuprindere redusă, fiind date în termenii "particulelor guvernate de forțe", pe când azi ar exista tendința de a concepe definiții mai largi, care subsumează toate sistemele în sens curent. Dar, în viziunea sa (n. a., care e contestabilă, dacă ne bazăm pe definițiile date de alți autori), există o înțelegere intuitivă clar conturată, care restrânge sensul care se poate da unui sistem dinamic, mai ales în științele cognitive. De aceea, el susține că *sistemele dinamice în științele cognitive sunt în primul rând sisteme cantitative*, pentru că aceasta e o trăsătură care distinge net un model dinamic de unul de tip standard computaționalist. Prin urmare, în concepția sa, variabilele unui model dinamic trebuie să fie numerice, având proprietăți cantitative. Sistemele dinamice cantitative ar fi, în formularea sa, sisteme guvernate de reguli care specifică o *relație cantitativă între cantitatea de schimbare în stare, cantitatea de schimbare în timp și starea curentă* (n. a., ceea ce în mod generic se definește, așa cum s-a văzut mai sus, a fi legea dinamică). Cu alte cuvinte, se prezintă *rate ale schimbării care sunt specificate în funcție de starea curentă*. În cazul în care relațiile dintre variabilele dinamice sunt exprimate prin ecuații diferențiale de ordin superior (adică variabilele dinamice apar în aceste ecuații ca necunoscute la puteri superioare), rata schimbării ulterioare va fi specificată în funcție de rata curentă de schimbare. Potrivit autorului citat, numai un sistem dinamic care e cantitativ și ca stare, adică unul pentru care se poate defini o distanță metrică sau topologică între două stări globale ale sistemului și al cărui comportament depinde de distanțe astfel definite, are stări care formează un spațiu într-un sens mai mult decât metaforic. Acest lucru permite, în concepția sa, o perspectivă geometrică asupra comportamentului sistemului, diferențiindu-l net față de sistemele de calcul de tip digital. De fapt, el impune condiția ca în definiția sistemelor dinamice noțiunea de timp să se limiteze la timpul pe care se poate defini și o durată între evenimente, nu doar o succesiune, o ordonare. În acest sens vine o afirmație făcută de Van Gelder și Port (1995), care subliniază că pentru a vorbi de existența unei dinamici *nu e suficientă schimbarea în timp, ci trebuie să se poată specifica și o rată a schimbării în timp, o legătură între cantitatea de schimbare în starea sistemului și o cantitate de timp (durata)*. Acest lucru se poate realiza doar dacă spațiul fază este astfel încât să ne permită să spunem cât de mult s-a schimbat sistemul și timpul în care s-a produs această schimbare, fiind vorba aici de *durate reale și nu doar de o simplă ordonare liniară a punctelor temporale*. Consider că această afirmație a sa merită pusă în

discuție. Ținând cont de cele discutate mai sus cu privire la posibilitățile de reducție a unui sistem dinamic la unul de tip static formal, nici în acest caz, adică al unui sistem dinamic cantitativ, diferențierea față de un sistem static formal nu e totuși completă. Aceasta pentru că există, în continuare, posibilitatea unei reducții, chiar dacă e vorba de una artificială sau care e posibilă numai în teorie. De aceea, nu cred că posibilitatea unei reducții la sisteme de calcul digitale ar trebui să împiedice folosirea noțiunii de sistem dinamic în științele cognitive și în alt sens decât cel cantitativ. Un prim argument ar fi cel de mai sus că, reducția ar fi teoretic posibilă și în cazul unui sistem dinamic cantitativ. Un altul este acela că în selectarea unui model de tip dinamic sau a unuia simbolic formal nu trebuie să se țină cont doar de posibilitatea reducției unuia față de celălalt, ci și de avantajele în ceea ce privește eleganța și ecologicitatea descrierii pe care le oferă fiecare din ele.

Plecând deci de la opinia sa, prezentată mai sus, că sistemele dinamice sunt în mod necesar cantitative, van Gelder (2000) propune o variantă scurtă de definire a sistemului dinamic ca fiind un set de cantități care evoluează în timp interdependent. În forma elaborată (van Gelder, 1999a), se specifică faptul că aceste cantități sunt variabile numerice, iar interdependența poate fi descrisă prin reguli care guvernează comportamentul în timp al sistemului, redate printr-o *ecuație care descrie cantitatea de schimbare*.

În plus, van Gelder (1998) enumeră o serie de opt variante de definire a sistemelor dinamice, majoritatea lor fiind din fizică sau având o formulare matematică. Una din primele definiții a fost acea care a apărut în mecanica clasică: un sistem de corpuri a căror mișcare e guvernată de forțe. După cum remarcă van Gelder și Port (1995), etimonul grec a atributului de dinamic (*dynamikos*) însemna "plin de forță, plin de putere". În acest sens, un sistem dinamic poate fi caracterizat ca un *sistem care se schimbă în funcție de forțele care operează în cadrul lui*, astfel încât ori de câte ori se aplică o forță, sistemul accelerează sau încetinește, imprimându-se deci o schimbare în rata cu care se schimbă stările în orice moment. Pentru a descrie aceste rate de schimbare e nevoie de apelul la instrumentelor matematice care au fost create în acest scop, și anume ecuațiile diferențiale. O altă definiție, tot din fizică, consideră că un sistem dinamic e un sistem fizic ale cărui variabile de stare includ o rată a schimbării, definindu-se pe baza lor o lege de mișcare care descrie rata de schimbare a stării întregului sistem. O definiție mai generală e aceea potrivit

căreia sistemul dinamic e un sistem caracterizat printr-o *evoluție dependentă de stare* (adică starea sa la un moment dat determină în mod precis starea viitoare a sistemului). Această definiție a fost dată de Ashby (1952, în van Gelder și Port, 1995), un cibernetician, ilustrând astfel intuițiile care au existat în cadrul cibernetici cu privire la sistemele dinamice. Ea e considerată de van Gelder și Port (1995) ca fiind foarte apropiată de modul în care ei concep sistemul dinamic: *starea sa curentă determină întotdeauna un comportament viitor unic, acesta neputând depinde de altă stare din trecutul sistemului, ci doar de starea prezentă.* Trecutul ar fi important numai în măsura în care a produs un efect asupra stării curente. *Chiar și în situația în care comportamentul unui sistem dinamic e influențat de factori externi, determinarea univocă se păstrează, pentru că această influență poate fi considerată ca fiind încorporată în regula de evoluție.* Astfel, starea curentă a sistemului, în conjuncție cu regula, determină în mod unic comportamentul viitor, în timp ce regula se schimbă în funcție de timp. Am putea spune că, printr-o astfel de definiție, se evidențiază faptul că nu orice sistem care se schimbă în timp poate fi considerat ca dinamic, ci doar cele care sunt deterministe și doar acelea în care regula de determinare se bazează pe stare. Cei doi autori citați menționează și ei genul de definiții care consideră un sistem dinamic ca fiind orice sistem care se schimbă în timp.

În final, van Gelder și Port (1995) se opresc la definiția pe care o propun ei: un sistem dinamic e un sistem cu stări numerice care evoluează în timp în acord cu o anumită regulă. În concepția lor, ori de câte ori un sistem poate fi descris de către ecuații diferențiale, el *are n aspecte sau trăsături care evoluează simultan sau continuu în timp real.* Fiecare trăsătură de acest fel ar corespunde unui număr real care se obține prin măsurarea sa. Acest lucru face ca *starea generală a sistemului să fie "un set ordonat de n numere reale". Spațiul stare al sistemului va fi atunci izomorf cu un spațiu al numerelor reale ale cărui n dimensiuni sunt magnitudini care corespund aspectelor în schimbare ale sistemului obținut prin măsurători.* Pentru cazul sistemului dinamic concret, definiția corespunzătoare dată de autorii mai sus numiți este următoarea: un set de aspecte ale lumii care se schimbă și care trebuie să fie interactive, astfel încât orice schimbare într-un aspect să depindă doar de schimbările din alte aspecte ale sistemului, stările viitoare ale acestuia fiind în mod unic determinate de starea curentă, printr-o anumită regulă. Mai pe scurt, accentuând asupra caracterizării relațiilor din cadrul unui

sistem dinamic, autorii citați susțin că e vorba de complexe de părți sau aspecte, care evoluează toate într-un mod de determinare *reciprocă, simultană* și *continuă.*

Într-o altă lucrare, van Gelder (1999b) aduce precizări suplimentare în definiția sistemului dinamic, considerându-l ca set de variabile cantitative care se schimbă *continuu, concurent și interdependent* peste un *timp cantitativ* în acord cu legi dinamice descrise de un set de ecuații.

Van Gelder și Port (1995) admit posibilitatea și a unei definiții mai liberale a sistemelor dinamice, una care să includă și ceea ce se numește aplicații discrete (în engleză "maps"), adică sisteme dinamice definite pe un timp discret, chiar dacă o apreciază mai puțin utilă decât pe aceea în care schimbarea e definită pe un timp real, continuu. Potrivit acestei definiții liberale, un sistem dinamic e orice sistem determinat de stare cu un *spațiu fază (al stărilor sistemului) numeric* și o regulă de evoluție (incluzând ecuațiile diferențiale și aplicațiile discrete) care specifică traiectoriile în acest spațiu. Acești autori consideră că și o astfel de definiție ar permite diferențierea clară a sistemelor dinamice în raport cu sistemele computaționale, care au ca stări în spațiul stare configurații de simboluri, iar regulile de transformare specifică transformarea acestora, generând traiectorii de configurații.

• Dietrich (1999) se plasează pe o poziție oarecum asemănătoare cu poziția lui van Gelder, prezentată mai sus. El pleacă de la o definiție generală a sistemelor, conform căreia un sistem e "orice colecție de obiecte fizice și proprietăți care interacționează una cu alta". Apoi, afirmă că, într-un sistem dinamic, variabilele pot fi doar numere care denotă cantități, *măsurând anumite proprietăți dependente de timp ale obiectelor fizice care constituie acel sistem.* Conform acestuia, pentru descrierea unui sistem dinamic, o importanță centrală o are rata de schimbare a cantităților sale relevante, ecuațiile diferențiale descriind traiectoria sistemului. Spre deosebire însă de van Gelder, Dietrich (1999) subliniază că *cerința ca ratele de schimbare a cantităților relevante să fie continue (în sens matematic), și nu discrete, e doar o condiție suplimentară.* De fapt, în concepția sa, nu e necesar ca ratele de schimbare să fie într-adevăr continue, ci doar foarte aproape de a fi astfel, încât, din punct de vedere practic, să nu mai conteze cum sunt în mod real. El vede acest lucru ca fiind un postulat al ipotezei dinamice, care afirmă că modul cel mai potrivit de a defini aceste rate de schimbare este acela de a le considera (n. a., adică a le aproxima) ca procese continue, indiferent dacă ele sunt

sau nu aşa. Se poate presupune că viziunea particulară asupra sistemelor dinamice a celor doi autori menţionaţi mai sus ar fi explicabilă prin faptul că ei pleacă de la o definiţie aparte asupra sistemelor în general. Pentru ei, în orice sistem există interacţiune sau interdependenţă şi, prin urmare, sistemele dinamice ar trebui să se distingă printr-un tip special de interacţiune, aceea dintre variabile cantitative, care îşi influenţează reciproc ratele de schimbare. Acest mod de definire vine în dezacord cu cel pe care l-am prezentat în secţiunea anterioară, în care s-a propus ca interacţiunea să fie o proprietate pe care o au numai sistemele dinamice. Chiar dacă există posibilitatea de a argumenta că existenţa interacţiunii presupune continuitatea schimbării într-un timp real, aceasta rămâne o problemă deschisă. Dar şi dacă ar fi astfel, atunci interacţiunea ar fi în mod necesar de tipul celei considerate a caracteriza sistemele dinamice de către van Gelder şi Dietrich şi, prin urmare, nu ar exista şi alte tipuri de interacţiuni. Pe de altă parte, poziţia lor e de înţeles, dacă se ţine cont de faptul că, actualmente, cele mai bine studiate şi cunoscute sunt sistemele dinamice cantitative şi, prin urmare, numai ele ar fi deocamdată utile pentru o modelare dinamică propriu-zisă. În plus, se admite în general că toate fenomenele naturale au o natură continuă.

• Van Geert (1994) defineşte sistemul, în general, ca un set de variabile sau observabile, izolate de către un observator, care interacţionează reciproc, fiecare variabilă influenţându-le şi codeterminându-le direct pe toate celelalte (o proprietate numită *conectivitate completă*). Se poate deduce din această definiţie că el se plasează pe aceeaşi poziţie ca van Gelder (1999), Dietrich (1999) şi Schroeck (1994), un sistem fiind prin definiţie dinamic pentru ei, dacă se ţine cont de accepţiunea pe care am dat-o sistemului dinamic şi interacţiunii în secţiunea anterioară. Potrivit lui van Geert (1994), interacţiunea elementelor este astfel încât ele se schimbă reciproc în cadrul unui proces, dând naştere la o *cauzalitate reciprocă*. Evoluţia în timp a procesului e descrisă de un set de ecuaţii cuplate, fiecare din aceste ecuaţii (numite de stare) fiind o iteraţie, împreună formând un *sistem de iteraţii cuplate*. Starea unei variabile la un moment dat e astfel o funcţie de starea tuturor variabilelor într-un moment anterior. După explicaţia dată de van Geert (1994), un sistem evoluează pentru că, formal vorbind, fiecare stare a sistemului este un input pentru o funcţie iterativă care produce starea următoare ca output, această *funcţie descriind modul în care fiecare variabilă le afectează pe celelalte*. Conform acestui autor, un sistem dinamic poate fi

definit în două moduri. *Formal*, prin *specificarea spațiului stare și a ecuațiilor de stare*. Și printr-un mod mai informativ și mai util, dintr-o *perspectivă topologică*, când se cere *specificarea spațiului stare și a traiectoriilor prototipice*. Autorul citat oferă și o interpretare geometrică oarecum inedită, considerând că un sistem dinamic e *o procedură de împăturire, înfășurare sau pliere* (în engleză: "folding") *a unui spațiu stare inițial într-un spațiu stare final*. Procesul ar fi similar celui de împăturire a unui ziar cu toate paginile puse în ordine. Ziarul în forma inițială e spațiul stare inițial, ziarul împăturit e spațiul stare final. Ideea ar fi că, datorită dinamicii, se schimbă relațiile de vecinătate dintre stările din spațiul inițial, astfel încât cuvinte care la început erau pe pagini diferite, ajung să fie, în final, foarte aproape în spațiu.

Punând accentul pe natura subiectivă a sistemului dinamic, prin evidențierea rolului observatorului, van Geert (1994) îl definește pe acesta, într-o altă variantă, ca un set de *variabile la care un observator se relaționează* (sau o colecție de variabile sau observabile izolate din realitate) care interacționează mutual (fiecare le influențează pe toate celelalte și pe ea însăși), ajungându-se la conectare completă.

• Kaneko (1998) arată că un sistem dinamic e un sistem care e alcătuit din timp, dintr-un set de stări, o regulă de evoluție a acestor stări, *o condiție inițială a stărilor și condiții de limită* (adică valoarea parametrilor externi de control). El observă că, în *definițiile tipice, se presupune că aceste elemente sunt independente unele de altele, adică, de exemplu, regula de evoluție nu depinde de numărul variabilelor sau starea în care se găsește un sistem nu influențează regula de evoluție*. El întrezărește însă și posibilitatea de a defini un tip special de sisteme dinamice, care ar fi mai utile în modelarea fenomenelor biologice și psihice, și anume *sistemele dinamice deschise*, adică sisteme în care elementele de mai sus nu sunt independente. Astfel, numărul variabilelor dinamice sau regula sa de evoluție ar putea depinde de starea în care se află sistemul. Acest lucru ar presupune existența unei *dinamici a dinamicilor*, care ar reda *dependența dintre stare și regula de evoluție*. Autorul citat oferă, în acest fel, o imagine asupra modului în care conceptul de sistem dinamic poate fi extins dincolo de modul de utilizare obișnuit, introducând ideea de sistem dinamic deschis.

O doua categorie de definiții ale sistemelor dinamice sunt cele care au un caracter matematic mai pronunțat, dintre care mai jos au fost selectate câteva dintre cele mai reprezentative:

• Giunti (1995) defineşte un sistem dinamic matematic ca o structură matematică abstractă folosită ca model pentru a descrie schimbarea unui sistem real ca o evoluţie printr-o serie de *stări, care sunt entităţi în afara timpului, neschimbătoare*.

Dacă evoluţia sistemului e deterministă (starea la momentul t+1 e determinată de starea la momentul t), atunci această *structură matematică are trei elemente*: 1) o *mulţime T (timpul)* (care e inclusă în R, I sau Q sau R^+, Z^+, Q^+, dacă e din mulţimea numerelor reale R, timpul e continuu, dacă e din cea a numerelor întregi Z, timpul e discret, dacă e din cea a numerelor raţionale Q, timpul e dens); 2) o mulţime M, care diferă de mulţimea vidă, şi care reprezintă toate stările posibile prin care sistemul poate evolua, numită şi *spaţiul stare sau spaţiul fază;* 3) un *set de funcţii* $\{g^t\}$ *care ne indică starea sistemului la orice moment t* care aparţine lui T, unde *g* se defineşte pe M, luând valori în M, cu condiţiile să se cunoască starea iniţială, g^0 fiind funcţia identică pe M (pentru că starea sistemului la momentul zero, când starea iniţială a sistemului e *x* este *x* însuşi), iar din g^t compus cu g^w să rezulte aceeaşi funcţie ca şi g^{t+w} (o condiţie care se referă la două evoluţii succesive în timp). Pentru cazul în care timpul e discret, când sistemul dinamic se numeşte *cascadă* (care se referă, de fapt, la situaţia în care T este inclusă în mulţimea numerele întregi nenegative), se formulează condiţia ca $g^{t+1}(x) = g(g^t(x))$, adică evoluţia sistemului este o *iterare de t ori a funcţiei g*.

O altă definiţie dată de acelaşi autor citat mai sus este următoarea. Un sistem generat de magnitudinile M_1, ... , M_n, unde $g^t(x_1...x_n) = <M_1[x_1...x_n](t) \ ... \ M_n[x_1...x_n](t)>$, x_1, ..., x_n fiind valorile iniţiale ale magnitudinilor, care servesc ca parametri pentru funcţia $M_i[x_1...x_n](t)$, este un sistem dinamic (de tip galilean) dacă funcţiile de evoluţie în timp satisfac următoarele condiţii: 1) $M_i[x_1 \ ... \ x_n](0) = x_i$ 2) $M_i[x_1 \ ... \ x_n](t+w) = M_i[M_1[x_1 \ ... \ x_n](t) \ ... \ M_n[x_1 \ ... \ x_n](t)](w)$. Potrivit autorului definiţiei, aspectul schimbării unui sistem real pe care un astfel de model dinamic intenţionează să-l descrie este *simultaneitatea variaţiei magnitudinilor* $M_1, ..., M_n$ *ale sistemului real* pentru care s-a generat modelul. Descrierea acestor variaţii e furnizată de funcţiile de evoluţie în timp $M_1(t), ..., M_n(t)$ a acestor magnitudinii.

• La fel ca şi autorul citat mai sus, Beer (2000) defineşte un sistem dinamic ca un triplet $<T, S, f>$, unde T este mulţimea ordonată a timpului, S e spaţiul stare (al stărilor posibile), iar f un operator de evoluţie

$f:S \rightarrow S$, care transformă o stare inițială s_0 aparținând lui S la momentul t_0 din T, într-o stare s_t care aparține tot lui S, la momentul t din T.

• Van Gelder (1998) identifică, din punct de vedere matematic, trei variante de definiții ale unui sistem dinamic. Prima este aceea ca *sistem de ecuații diferențiale* (adică ecuații în care apar derivate ale necunoscutelor) de prim ordin. A doua e ca un *câmp vectorial* (ca obiect matematic care reprezintă tendințele de modificare a variabilelor dinamice în orice moment) definit pe o varietate (vezi definiția care i se dă în una din secțiunile următoare). Ultima definiție este aceea ca *aplicație pe un spațiu metric.*

• Un sistem dinamic este un *câmp vectorial* al *tendințelor sistemului de a se schimba în fiecare stare* a sistemului (Abraham, 1996). Cu alte cuvinte, s-ar putea spune că el oferă o modalitate de a descrie trecerea timpului, schimbarea în toate punctele unui spațiu ale cărui puncte sunt stări. Romero și Vázquez (1998), pentru a face mai intuitivă noțiunea de câmp vectorial în contextul definirii unui sistem dinamic, îl mai numesc *câmp al vitezelor*, prin analogie cu modul de mișcare a unei particule care s-ar deplasa purtată de traiectoriile unui sistem dinamic. Aceste traiectorii pot fi privite ca niște unde curgătoare în câmpul vitezelor, indicându-ne viteza sistemului (ca valoare în modul, precum și direcția și sensul) în orice punct al spațiului stare, în orice moment. Conform unei astfel de interpretări pentru un sistem dinamic, dacă am avea două particule situate la același moment de timp în aceeași poziție și le-am lăsa să se miște liber în funcție de câmpul vitezelor, ambele ar trebui să parcurgă același drum.

• Boutot (1997) optează pentru o definiție a sistemului dinamic ca fiind un sistem alcătuit din două elemente: *un spațiu* M (numit *varietate*) care reprezintă *suportul dinamicii* și un *câmp de vectori* X pe acest spațiu. Astfel, distinge și el între partea statică (spațiul, care e suportul dinamicii) și cea dinamică, reprezentată de câmpul de vectori. Sistemul e definit pe o varietate (adică o submulțime compactă a unui spațiu multidimensional) pentru că în multe aplicații spațiul stare natural e "curbat" (de exemplu, pentru sistemul dinamic al mișcării unui pendul). Autorul mai sus citat face și mențiunea importantă, după cum se va vedea și mai jos, că *un sistem dinamic prezintă, în general, dar nu în mod necesar, atractori* (adică un set limitat de stări din spațiul stare spre care tinde să evolueze în timp).

• Mira (1987a) prezintă mai multe formulări matematice ale definiției unui sistem dinamic.

Prima dintre ele îl consideră ca fiind un sistem de ecuații diferențiale cu variabile reale care au una din următoarele două forme: 1) dx_i/dt

$= f_i(x_1, x_2, ..., x_m)$, pentru cazul sistemelor *autonome* (care vor fi definite mai jos); 2) $dx_i/dt = f_i(x_1, x_2, ..., x_m, t)$, pentru sistemele *neautonome*, unde $i = 1, 2, ..., m$, iar t e timpul, iar m e ordinul ecuației. Condițiile ca un astfel de sistem să aibă o soluție $x_i(t)$ și ca aceasta să fie unică este ca $x_i(t_0) = x_{i0}$. O astfel de soluție: $x_i = x_i(t, x_{i0}, t_0)$ variază continuu în timp și este reprezentată într-un un spațiu de coordonate $x_1, x_2, ..., x_m$, numit spațiul fază, printr-o curbă a ecuației parametrice $x_i = x_i(t, x_{i0}, t_0)$, care trece prin punctul x_{i0}, numită traiectoria fazei.

O a doua formulare este pentru cazul în care timpul e discret, t fiind caracterizat de un șir n de numere întregi, cu cele două situații: 1ª) $x_{n+1}^{(i)} = f^{(i)}(x_n^{(1)}, x_n^{(2)}, ..., x_n^{(p)})$, pentru sisteme autonome; 2ª) $x_{n+1}^{(i)} = f^{(i)}(x_n^{(1)}, x_n^{(2)}, ..., x_n^{(p)}, n)$, pentru sisteme neautonome, unde $i = 1, 2, ..., p$, iar $n = 1, 2, ...$. Condițiile de existență și de unicitate ale soluției corespund unui punct inițial x_{i0}, dat în spațiul fază, soluția prezentându-se ca un șir de puncte x_n, numită traiectorie discretă a fazei. Ecuațiile 1ª) și 2ª) sunt numite recurente, sau transformări punctuale, pentru că ele pot fi interpretate ca o transformare a unui punct al traiectoriei din spațiul fază în punctul care urmează. Pentru aceste ecuații se poate da și o formă vectorială: $X_{n+1} = F(X_n)$ sau $X_{n+1} = F(X_n, n)$, unde X este un vector în spațiul euclidian cu un număr finit de m dimensiuni, F este o funcție vectorială (continuă sau analitică), iar n e, în general, un număr întreg, dacă nu se specifică altfel. Pentru rezolvarea sistemelor de ecuații diferențiale se folosesc metode numerice, iar pentru sistemele de ecuații algebrice recurente se folosesc metode iterative.

• Nowak și Lewenstein (1994) disting și ei în definirea sistemelor dinamice cele două cazuri, care au fost prezentate și mai sus, când timpul este continuu și când el este discret. Pentru cazul când este *discret*, sistemul evoluează în *pași discreți și nu după o curbă*, un sistem cu n variabile dinamice fiind definît de un sistem de ecuații de forma: $x_1(t+1) = F_1[x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]$; $x_2(t+1) = F_2[x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]$; .... ; $x_n(t+1) = F_n[x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]$. Pentru cazul în care timpul e continuu, ecuațiile diferențiale oferă instrumentul potrivit pentru a descrie astfel de sisteme, pentru că exprimă ratele de schimbare a variabilele dinamice ca o funcție de starea sistemului, dată de valorile acelor variabile. Dinamica e guvernată de un set de n ecuații diferențiale care determină rata schimbării pentru fiecare variabilă $x_i(t)$ pentru $i = 1, 2, ..., n$: $dx_i(t)/dt = f_i(x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t))$ unde $f_i(x_1, x_2, ..., x_n)$ sunt funcții care specifică interacțiunile între variabilele dinamice.

• Un sistem dinamic este o asociere (X, T, f) unde X e spațiul fază, T spațiul temporal, iar f e o aplicație numită *flux* din X x T în X. Se va presupune că X e o submulțime compactă a lui R^n, iar T este R, Z sau N (Cosnard și Lausberg, 1987).

• Un sistem dinamic e o pereche (X, *f*) unde X e o *mulțime continuă cu o topologie* (care definește relațiile de apropiere, de vecinătate, între elementele mulțimii) și *f* e o relație, astfel încât f : X x T→X, unde T e timpul (Fernandez, Moreno și Etxeberria, 1991). Pentru un sistem dinamic discret e vorba de o pereche (X, *f*) unde X e spațiul stare și *f* o *funcție care aplică X în X* (Goertzel, 1993). Cele două definiții sunt de același tip pentru cele două cazuri (cu timp continuu și timp discret), evidențiindu-se faptul că domeniul pe care se definește funcția pentru spațiul dinamic continuu este obținut prin realizarea produsului cartezian al mulțimii spațiului stare cu mulțimea care reprezintă timpul.

• Jordan (1996) propune o definiție mai largă a sistemelor dinamice, care face legătura cu definițiile de tip cibernetic pentru un sistem în general, implicând o distincție între input și output, luate în sensul lor cel mai larg, și, implicit, încorporarea în ecuațiile definitorii a inputului extern. El pornește de la ceea ce consideră a fi un fapt fundamental, și anume că, pentru multe sisteme, cunoașterea doar a inputului pentru acel sistem la un moment dat nu e suficientă pentru a prezice outputul. Exemplul folosit de el este acela al unei mingi de ping-pong, pentru care nu ajunge să știi că a fost lovită de o paletă, ci e necesar să cunoști și viteza și învârtirea înainte de a fi fost lovită, adică aflarea valorilor unor variabile care sunt numite variabile de stare (pe care le distinge de variabilele de input, cum ar fi forța). Doar cunoașterea stării unui sistem împreună cu cunoașterea inputului la un moment dat e suficientă pentru a prezice starea sa la următorul moment de timp. În ceea ce privește specificarea outputului, din punct de vedere matematic, acesta este pur și simplu o funcție precizată a stării sistemului. Outputul este interpretat fizic ca un set de măsurători care pot fi făcute cu dispozitive externe de măsurare. Jordan (1996) consideră că, de cele mai multe ori, alegerea variabilei de output se face în funcție de scopurile celui care elaborează un model. El ilustrează această situație tot prin exemplul mingii de ping-pong, pentru care se poate alege ca variabile de output energia potențială și energia cinetică a mingii, care depind, ambele, de starea mingii. Plecând de la aceste considerații, Jordan (1996) arată că un sistem dinamic poate fi caracterizat printr-o pereche de ecuații: 1) ecuația stării

următoare, care exprimă modul în care starea sa se schimbă funcție de starea curentă $x_{[n]}$ și inputul $u_{[n]}$: $x_{[n+1]} = f(x_{[n]}, u_{[n]})$, unde *f* e funcția stării viitoare; 2) ecuația pentru output, care specifică felul în care outputul $y_{[n]}$ e obținut din starea curentă: $y_{[n]} = g(x_{[n]})$, *g* fiind funcția de output. Ecuațiile se pot combina într-una singură, pentru a da seama de trecerea de la input la output: $y_{[n+1]} = h(x_{[n]}, u_{[n]})$, unde *h* se obține prin compunerea lui *f* și *g*.

Jordan (1996) prezintă și un alt mod de definire a sistemelor dinamice, mai puțin obișnuit, în care se renunță la ideea de stare, în favoarea reprezentării în termenii secvențelor de vectori, un sistem dinamic putând fi tratat ca o transformare de la o secvență infinită de vectori de input la un vector de output: $y_{[n+1]} = F(u_{[n]}, u_{[n-1]}, u_{[n-2]}, \ldots)$. O astfel de definiție pune în evidență faptul că un sistem dinamic poate fi tratat ca o punere în corespondență a unei secvențe de input cu o secvență de output. Consider că față de o definiție clasică de tip cibernetic, trebuie să se sublinieze faptul că nu e vorba de o legătură clasică dintre input și output, ci dintre o *secvență* de inputuri (și încă una infinită) și o *secvență* de outputuri. Pentru exemplul concret al mingii de ping-pong, se poate spune că viteza și momentul învârtirii la un moment dat pot fi analizate în termenii modului în care mingea a fost lovită în momentul de timp precedent și apoi cel anterior lui și așa mai departe. Jordan (1996) apreciază însă că o astfel de definire are dezavantajul că F este mult mai complicată decât *f* și *g*. În practică, pentru că pentru multe sisteme dinamice influența unui input se stinge în timp, relația dintre input și output va putea fi adesea aproximată de o relație trunchiată, care implică doar ultimele *k* inputuri: $y_{[n+1]} \approx F(u_{[n]}, u_{[n-1]}, \ldots, u_{[n-k+1]})$. Dacă se definește variabila stare $x_{[n]}$ ca fiind secvența $u_{[n]}, u_{[n-1]}, \ldots, u_{[n-k]}$, atunci reprezentarea trunchiată a relației inputului cu outputul poate fi ușor convertită într-o reprezentare a variabilelor stare.

După această trecere în revistă a definițiilor date de diverși autori sistemelor dinamice, se pot sintetiza câteva idei.

Ținând cont de gradul de generalitate a acestor definiții, mai ales cele care se referă la sistemele dinamice concrete, există definiții mai largi, care consideră că aproape orice sistem real e dinamic sau că un sistem este dinamic indiferent de natura variabilelor sale (cantitativă sau calitativă), pe când altele sunt mai restrânse, acordând acest statut doar sistemelor ale căror variabile sunt cantitative, numerice și, uneori, în plus, continue. Însă se poate aprecia că această diferențiere, în practică, nu e atât de clară cum pare la prima vedere, pentru că apare problema posibilității de a transforma calitativul în cantitativ, cum se întâmplă, de exemplu, în cazul

culorilor care pot fi considerate a fi diferite calitativ şi, în acelaşi timp, lor le corespund anumite frecvenţe ale radiaţiei electromagnetice, ceea ce face ca între ele să existe o diferenţă cantitativă. O variabilă calitativă poate fi privită ca fiind o segmentare arbitrară a unei variabile cantitative sau a unui spaţiu numeric multidimensional făcută de un observator extern, în funcţie de scopurile sale. Problema variabilelor dinamice ale unui sistem dinamic ar putea fi tratată şi cu terminologia folosită în metodologia cercetărilor psihologice, sugerându-se că, în cazul în care s-ar dori modelarea cu ajutorul sistemelor dinamice a unor fenomene psihice, atunci variabilele care vor fi măsurate cu statut de variabile dinamice ar trebui să fie de tipul scalelor de raport sau interval, pentru definiţiile mai restrânse ale sistemelor dinamice, pe când pentru altele, acestea pot fi şi ordinale sau chiar nominale (dacă se consideră sisteme dinamice atipice, luând noţiunea de sistem dinamic într-un sens foarte larg).

O altă observaţie care se poate face e că definiţiile diferă ca perspectivă şi ca proprietăţi ale sistemelor pe care pun accentul în caracterizarea lor, mai ales în situaţia în care se consideră cazul sistemelor dinamice abstracte, ca structuri matematice. Unele pleacă de la variabilele dinamice şi specificarea relaţiilor de interacţiune dintre acestea prin ecuaţii dinamice. Altele pun accentul pe spaţiul stărilor globale ale sistemului şi pe legea dinamică care se defineşte pe acest spaţiu, prin care se specifică modul cum se realizează tranziţia de la o stare la alta a sistemului. În acest caz din urmă, unele definiţii consideră că această lege descrie mişcarea sistemului prin spaţiul stare, altele felul în care spaţiul stare se transformă de la un moment la altul, altele o văd ca pe o regulă de substituţie sau de transformare a unei stări a sistemului în alta. Unele definiţii consideră că legea dinamică trebuie să fie de tip determinist, altele (care nu au fost prezentate în această lucrare) admit posibilitatea de a se vorbi de sisteme dinamice şi în cazul în care legea dinamică e de tip probabilist.

Se constată şi o diferenţiere în modul cum se specifică legea dinamică sau ecuaţiile dinamice pentru cele două tipuri importante de sisteme dinamice: cele cu timp continuu şi cele cu timp discret. În definirea sistemelor dinamice continue, pe prim plan se pune determinarea tendinţei (ratei) de schimbare a sistemului în funcţie de starea curentă a sistemului. Pentru sistemele dinamice discrete accentul se pune pe determinarea unei stări viitoare a sistemului în următorul moment de timp pe baza stării curente. După cum s-a văzut, există şi autori care restrâng sensul noţiunii de sistem dinamic doar pentru sistemele dinamice cu timp continuu, adoptând un sens clasic al continuităţii.

Pe de altă parte, se remarcă şi o serie de definiţii atipice cum sunt cele propuse de Kaneko (1998), care sugerează o cale de generalizare a conceptului de sistem dinamic, sau Jordan (1996), care dă o interpretare particulară legii dinamice.

În raport cu aceste diferenţe între definiţiile date de diverşi autori, părerea pe care o susţin în această lucrare este aceea că alegerea definiţiei adecvate pentru un sistem dinamic nu e o problemă pur matematică, ci are un caracter mai general, de natură filosofică. În plus, ceea ce e mai importat nu este dacă un sistem real investigat este un sistem dinamic sau nu în sens clasic, ci ce fel de sistem este sau ar putea fi şi ce fel de proprietăţi are sau ar putea avea un astfel de sistem dinamic. De aceea, în cele ce urmează se va trata problema tipurilor de sisteme dinamice şi, ulterior, aceea a proprietăţilor lor.

Tipuri de sisteme dinamice

Deja din definiţiile date mai sus s-au conturat câteva criterii existente de clasificare a sistemelor dinamice. S-a discutat în secţiunile anterioare mai pe larg despre sisteme dinamice *concrete*, reale, şi *abstracte*, formale. De asemenea, s-a tratat deja în mod extins şi problema distincţiei dintre sisteme *cantitative* şi *calitative*. Apoi s-a amintit de sisteme *deterministe* şi sisteme *probabiliste* sau stocastice. În sistemele deterministe schimbarea e guvernată de reguli precise şi determinate, care ne spun ce se poate întâmpla teoretic (Lucas, 1997). Aceste reguli determină în mod unic noua stare, dacă se specifică starea iniţială şi inputurile ulterioare (Arbib, 1995). În schimb, sistemele probabiliste (sau stocastice) sunt sisteme în care oricât de bine s-ar specifica starea iniţială şi inputurile ulterioare, se poate ca, cel mult, să se specifice o distribuţie de probabilitate a stărilor şi outputurilor viitoare, ele evoluând după o lege de tip probabilist (Arbib, 1995). Oarecum la graniţa dintre cele două tipuri de sisteme se află sistemele haotice continue, care vor fi definite mai jos. Ele au un comportament determinat de o lege deterministă, însă în practică, starea lor viitoare nu poate fi determinată exact, pentru că pentru a realiza acest lucru ar trebui ca starea iniţială a sistemului să se cunoască cu o precizie infinită. Prin urmare, în cazul lor, se poate prezice doar cu o anumită probabilitate starea viitoare, astfel că, deşi sunt deterministe, în practică se comportă ca cele probabiliste. Un alt caz posibil, dacă se ia în considerare sensul cel mai larg al sistemului dinamic, de sistem care se

schimbă în timp, ar fi acela al sistemelor care îşi schimbă starea în timp, dar o fac complet aleatoriu, fără nici un fel de regulă (sisteme *aleatorii*).

Aşa cum s-a văzut mai sus, Kaneko (1998) propune o distincţie mai deosebită între sisteme dinamice *deschise*, dar nu neapărat în sensul de schimb de materie şi energie, ci de dependenţă a regulii de evoluţie de starea sistemului, şi cele de tip clasic, "*închise*", în care regula de evoluţie, starea şi condiţiile iniţiale sunt reciproc independente.

Există apoi sisteme cu timp *continuu* (în care inputul, outputul şi spaţiul stărilor sunt continue, schimbarea fiind continuă) şi cele cu timp *discret* (în care spaţiul stare poate fi continuu, cu o structură metrică, sau discret, având o structură topologică). Sistemul dinamic continuu este numit şi curent (în engleză, "flow"), datorită unei analogii care se face cu mişcarea particulelor într-un fluid care curge (Codreanu, 2007). Arbib (1995) arată că în cazul în care sistemul e cu timp discret şi inputul, outputul şi spaţiul stare sunt discrete, sistemul se numeşte *automat* (un caz special fiind *automatele celulare*, în care elementele sunt celule interconectate care se pot afla în mai multe stări). Din punct de vedere algebric, sistemele continue sunt descrise prin ecuaţii diferenţiale, iar cele discrete prin ecuaţii diferenţă, exprimând relaţii recursive (Pronovost, 2006). Din punct de vedere geometric, cele continue sunt numite fluxuri, iar cele discrete ca difeomorfisme (Pronovost, 2006). Giunti (1995) mai adaugă o categorie, aceea a *sistemelor cu timp dens*, când timpul e din mulţimea numerelor raţionale Q, cele discrete (numite şi *cascade*) fiind cele în care timpul este din mulţimea numerelor întregi Z, iar cele cu timp continuu sunt cele în care timpul e din mulţimea numerelor reale R. Se poate constata că aici e vorba nu de un timp fizic, ci de unul convenţional, formal.

Sistemele dinamice simbolice pot fi considerate sisteme dinamice atipice, deoarece sunt foarte apropiate de cele clasice formale, de tip static. Wright (1996) arată că, pentru a le defini, e necesar să se pornească de la un şir de simboluri formale (de exemplu, litere) şi de la nişte reguli pentru evoluţia unui şir construit din simbolurile formale, care au forma unor reguli de rescriere a subşirurilor sau a literelor cu şiruri de înlocuire. La fel, în categoria sistemelor dinamice de tip discret pot fi incluse şi două tipuri de sisteme cu caracter aplicativ care au fost concepute în cadrul studiilor asupra inteligenţei artificiale.

Primul este acela al *automatelor celulare*. Ele au fost introduse prima dată de von Neumann, în anii '50 ai secolului trecut, fiind folosite pentru a modela turbulenţa fluidelor, creşterea plantelor, propagarea

bolilor sau distribuția descărcărilor electrice în rețele neuronale. Rolul lor a fost acela de a servi ca modele prototipice pentru sistemele complexe și pentru procesele care constau dintr-un număr mare de componente identice simple (celule), care interacționează local (Nonlinear Dynamics and Complex Systems Theory. Glossary of Terms, 2004). Luger (1994) le definește ca "mașini cu stări finite", compuse din așa numitele celule care au un set de stări și de reguli de tranziție (care includ instrucțiuni pentru nașterea, viața și moartea fiecărei celule, interpretate ca stări ale acesteia). Când aceste populații de celule sunt lăsate să coopereze ca agenți în paralel, ele pot genera un comportament similar "formelor de viață", adică paternuri care apar, se dezvoltă și rămân stabile, având un comportament ciclic, sau mor. Ele prezintă interacțiuni adaptative care conduc la supraviețuirea lor, ceea ce se poate interpretata ca învățare, fără însă ca să existe un algoritm central ca în cazul sistemelor inteligente care se bazează pe computaționalismul simbolic. Cooperarea apare din interacțiunile distribuite și autonome ale elementelor celulare (Luger, 1994). O definiție mai sistematică a automatelor celulare e dată de Green (1993). Pentru el, un automat celular este o matrice de automate programate identic, numite celule, care interacționează între ele. Trăsăturile esențiale ale unui automat celular ar fi în viziunea sa: starea, care e dată de o variabilă care ia valori diferite separate pentru fiecare celulă, vecinătatea, care e constituită de setul de celule care interacționează direct și programul, adică setul de reguli care definesc modul în care starea unei celule se schimbă ca răspuns la starea curentă și aceea a vecinilor. Datorită acestor reguli, automatele celulare sunt capabile de autoorganizare, astfel că în ciuda faptului că, la început, se poate porni cu un aranjament aleatoriu de stări, se va ajunge în final la emergența unor paternuri. O definiție parțial similară cu cea înainte menționată este dată de Heath (2000). Acesta definește automatele celulare ca fiind sisteme care conțin un număr mare de unități de procesare interconectate, care își schimbă starea după reguli care depind de starea unităților de procesare vecine. El mai adaugă însă specificarea că modul de comportament al acestora depinde de un parametru identificat de Langton (1990, în Heath, 2000), al fluidității, care reprezintă rapiditatea cu care informația circulă între unitățile rețelei, depinzând de regulile de tranziție din automatul celular.

Există și un tip de sisteme dinamice care reprezintă o generalizare a automatelor celulare, așa numitele *latici cuplate* (în engleză: "coupled map lattices"), în care doar spațiul și timpul sunt discrete, ca în cazul automatelor celulare, dar valorile pe care le pot lua celule nu mai sunt

obligatoriu discrete, putând lua valori continue (Nonlinear Dynamics and Complex Systems Theory. Glossary of Terms, 2004).

Al doilea tip este acela al *algoritmilor genetici*. Holland (1986, Luger, 1994) apreciază că aceştia reprezintă o abordare a învăţării care explorează paralelismul interacţiunii mutuale, fiind constituiţi din reprezentări "la nivel de bit" şi din aşa numiţii operatori genetici. În astfel de sisteme, învăţarea apare ca o competiţie între o populaţie de concepte alternative, care se află, fiecare, în evoluţie. Conceptele care conduc la soluţiile cele mai bune nu doar supravieţuiesc, ci şi schimbă informaţii cu alte concepte pentru a forma noi soluţii (cum e şi în genetică schimbarea de informaţii între cromozomi, de unde şi numele de algoritmi genetici). Soluţiile nepromiţătoare rămân în sistem, urmând ca pe viitor să fie posibil ca acestea să contribuie la noi soluţii candidate. Algoritmul se referă, practic, la regulile care guvernează competiţia (interacţiunea) dintre concepte.

Cele două tipuri de sisteme prezentate ar putea să nu fie considerate sisteme dinamice de tip clasic: elementele lor nu sunt în mod necesar variabile de tip cantitativ şi nu există între ele o interconectivitate completă. Totuşi, şi în cazul lor, interacţiunea dintre elemente (descrisă nu prin ecuaţii, ci prin reguli) joacă un rol central în comportamentul sistemului, iar elementele lor suferă schimbări de stare în timp.

Pe baza tipului de lege dinamică, Voinea şi Stroe (2000) menţionează distincţia dintre sisteme dinamice *fără memorie (sau instantanee)*, adică acele sisteme al căror output la momentul *t* depinde exclusiv de valorile de input din acel moment *t*, şi cele *cu memorie*, atunci când outputul sistemului la momentul *t* depinde de unele valori de input din trecut. O alta clasificare pe care o amintesc cei doi autori este între sisteme dinamice *cauzale*, când outputul depinde în orice moment doar de valorile din trecut ale inputurilor, şi *necauzale*, când oututul nu depinde exclusiv de aceste valori.

Aşa cum s-a amintit şi mai sus, se face distincţie, de asemenea, între sisteme *simple* şi *complexe*. Cele simple sunt sisteme dinamice alcătuite dintr-un număr relativ mic de variabile dinamice. După cum se poate constata, nu există un criteriu clar de departajare faţă de cele complexe, dacă se ia în considerare criteriul numărului de variabile. Cele complexe sunt sisteme neliniare extinse spaţial şi/sau temporal, fiind caracterizate de proprietăţi colective asociate unui astfel de sistem ca întreg (Meiss, 2003). Mandelblit şi Zachar (1998) definesc sistemele complexe, citându-l pe Holland (1994), ca fiind sisteme alcătuite dintr-o

colecție de elemente care interacționează neliniar și, de aceea, comportamentul agregat nu poate fi derivat din simpla însumare a comportamentului elementelor izolate. Prin urmare, agregatul elementelor trebuie tratat colectiv, ceea ce ar determina emergența unui comportament global al sistemului. O altă definiție a unui sistem dinamic complex e aceea a unui sistem alcătuit din mai multe sisteme dinamice, care sunt cuplate (se va defini mai jos noțiunea de cuplare) între ele, astfel că, în final, întreg sistemul va fi caracterizat printr-o singură lege dinamică. În acest caz, un sistem dinamic simplu este acel sistem dinamic care nu a rezultat din mai multe sisteme dinamice. Un sistem complex ar putea fi reprezentat, în acest context, printr-o schemă bloc, de tipul celor întâlnite în abordările sistemice clasice, de tip cibernetic, prin care se indică modul de interconectare a subsistemelor sistemului complex. Concluzia care se impune este aceea că există perspective diferite asupra modalității de definire a sistemelor complexe, care se suprapun doar parțial. Unele pun accentul pe numărul elementelor din sistem sau pe extensia lor spațială sau temporală, altele specifică faptul că nu are importanță atât numărul de elemente, ci ca aceste elemente să fie la rândul lor subsisteme dinamice, altele consideră că sursa complexității nu e numărul de elemente, ci interacțiunea lor de tip neliniar. E de observat însă că, atunci când se definește un sistem complex se uită a se menționa dacă atributul de complex se referă la comportamentul său sau la structura sa. Complexitatea în comportament derivă din neliniaritatea interacțiunilor, pe când aceea a structurii din numărul de elemente sau tipul acestora. Mai multe despre noțiunea de complexitate vor fi prezentate mai jos, în secțiunea corespunzătoare.

S-a discutat în trecere și mai sus despre sisteme *autonome* și *neautonome*. Cele neautonome ar fi cele în care funcția care dă legea dinamică sau câmpul vectorial ar depinde explicit de timp, iar cele autonome ar fi cele în care nu există o dependență explicită de timp a acestora (Meiss, 2003). Banerjee (n.d.) arată că acest lucru ar însemna, formulat altfel, că un sistem dinamic e autonom atunci când nu are input extern care să varieze în timp, nici parametri care să se schimbe în timp. Sistemele neautonome ar fi acelea care au input extern sau care își schimbă definiția în timp.

Van Gelder și Port (1995) vorbesc și de sisteme *neomogene*, adică sisteme pentru care parametrii de control (concept definit pe larg mai jos) se schimbă în timp, ceea ce va face ca și regula de evoluție a sistemului să se schimbe, regula însăși fiind funcție de timp.

O altă diferențiere este aceea dintre sisteme *conservative* și *disipative*. În cazul celor conservative, o proprietate globală a sistemului, cum ar fi, de exemplu, energia, nu se schimbă în timp (Nowak și Lewenstein, 1994). În schimb, în cele disipative, după cum menționează Nowak și Lewenstein (1994), o astfel de proprietate se schimbă, ele tinzând ca, în timp, să se apropie de stări asimptotice (de exemplu, un sistem își poate pierde energia prin frecare, ajungând în final la o stare de repaus). În plus, sistemele disipative mai sunt definite ca sisteme care folosesc fluxuri energetice pentru a-și menține forma sau pentru a continua să funcționeze (Lucas, 1997). Mai multe detalii în legătură cu această distincție se găsesc mai jos, în secțiunea separată dedicată acestui subiect.

Ultima distincție este aceea dintre sisteme dinamice *liniare* și *neliniare*. În cele liniare, relațiile dintre variabilele dinamice sunt de tip liniar (fiind descrise prin ecuații liniare), existând o relație proporțională între modificarea uneia și modul de schimbare a alteia. Cu alte cuvinte, influența unei variabile asupra alteia este constantă. În schimb, într-un sistem dinamic neliniar, există cel puțin o relație neliniară între variabilele dinamice (descrisă prin ecuații neliniare), în care modificarea unei variabile influențează exponențial (multiplicativ), disproporționat, modificarea alteia. Adică, influența pe care o exercită o variabilă asupra alteia nu e constantă, ea fiind în funcție de valoarea pe care aceasta o ia la un moment dat. Sistemele dinamice neliniare au proprietățile cele mai interesante și cele care sunt cele mai atractive pentru cercetătorii din diversele domenii ale științei în care s-a încercat o modelare dinamică a fenomenelor investigate, pentru că au un comportament similar multor sisteme reale. Dar, așa cum s-a văzut și mai sus, ele sunt și cel mai greu de studiat, pentru că pentru ele e cel mai dificil să se găsească soluții numerice. În cele ce urmează, când se va trata problema proprietăților sistemelor dinamice, accentul se va pune predominant pe proprietățile sistemelor dinamice neliniare.

Concepte fundamentale ale TSD și ale teoriilor conexe

În secțiunea de față au fost selectate și vor fi prezentate cele mai importante concepte ale teoriei sistemelor dinamice neliniare, cele care pot fi cele mai utile unui cercetător din orice domeniu al științei care ar dori să aplice TSDN pentru a construi modele dinamice ale fenomenelor studiate. Ele sunt deopotrivă și cele mai frecvent întâlnite concepte ale TSDN în

literatura de specialitate dedicată genului. Câteva dintre ele au fost menționate și în secțiunile anterioare, dar, în cele de față, majoritatea acestora vor fi explicate mai pe larg. În locul unei ordonări alfabetice, ca într-un glosar, cum se procedează în mod obișnuit, am preferat o ordonare mai degrabă logică a acestora, astfel încât conceptele de bază să fie prezentate înaintea celor mai complexe, care sunt definite prin intermediul acestora.

Timpul

Ca și o componentă a unui sistem dinamic, timpul e considerat, potrivit lui van Gelder (1998), ca o mulțime a cărei ordonare este intrinsecă, ceea ce permite ca, prin intermediul ei, să fie ordonate alte mulțimi (în cazul sistemului dinamic e vorba de mulțimea valorilor pe care le poate lua o variabilă dinamică sau mulțimea stărilor în care se poate afla sistemul). Ordonarea intrinsecă ar avea la bază relația de succesiune între elemente de tipul "înainte/după".

În contextul sistemelor dinamice, Banerjee (n.d.) arată că timpul poate fi privit ca variabila independentă a sistemului, iar variabilele dinamice de stare ca variabilele dependente ale acestuia.

Variabilă continuă

O definiție intuitivă ar fi aceea că o variabilă continuă este una care se schimbă pe orice scară temporală sau spațială, indiferent cât de mică ar fi aceasta. O altă definiție, mai pragmatică, de tip operațional, este cea dată de Popescu (2000), pentru care o variabilă continuă este una pentru care e posibilă obținerea unei măsurători a valorii sale în orice moment.

Derivată

Derivata de ordin unu a unei funcții continue **f(x) = y** față de variabila **x** e o nouă funcție, notată ca **dy/dx** sau **f'(x)**, care e dată de rata de schimbare a funcției a cărei derivată este, adică a valorii **y**, în raport cu variabila **x**. Cu alte cuvinte, rata de schimbare înseamnă cât de mult se schimbă valoarea acelei funcții, pentru o modificare arbitrar de mică a variabilei la care se raportează, în acest caz a lui **x**. Ea este, de fapt, o valoare limită, care se obține atunci când modificarea variabilei **x** tinde să fie nulă și se calculează ca fiind valoarea unghiului pe care îl formează tangenta într-un punct al graficului acelei funcții cu funcția însăși. În cazul sistemelor dinamice continue se vorbește de derivate ale unor funcții în raport cu timpul, adică atunci când variabila **x** e timpul, reprezentând rata

de schimbare instantanee (sau, cu alte cuvinte, tendința de schimbare) a funcției în fiecare moment.

O derivată de ordin doi se referă la tendința de schimbare a funcției derivate de prim ordin pentru variabila la care se raportează. O derivată de ordin terțiar se referă la tendința de schimbare pentru funcția derivată de ordin secund și tot așa mai departe.

Pentru fiecare valoare a unei variabile continue se poate defini derivata în punctul corespunzător acelei valori, dată de cantitatea de schimbare pentru o perioadă care e infinit de mică (după van Geert, 1994).

Variabila dinamică

Variabilele dinamice sunt, din punct de vedere matematic, variabile numerice care se schimbă în timp și care caracterizează proprietățile relevante ale stării sistemului dinamic concret modelat la un moment dat. De exemplu, pentru un măr care cade, variabilele dinamice cheie sunt poziția și viteza și nu culoarea, care e irelevantă pentru mișcare (Nowak și Lewenstein, 1994).

Modul în care se schimbă în timp o variabilă dinamică e dat prin legea dinamică. Prin ea se definește, în funcție de starea inițială de la care pornește sistemul din care face parte, o structură a tranzițiilor posibile între valorile variabilei dinamice.

O caracteristică care e evidentă, dar care în ciuda importanței sale e trecută adesea cu vederea, este aceea că o variabilă dinamică într-un sistem concret e întotdeauna o variabilă care e prezentă, activă, adică exercitând în mod continuu un efect asupra altora, chiar și atunci când este nulă (după Newtson, 1994). Ea se comportă asemenea unei forțe, așa cum van Geert (1998) consideră că ea ar trebui interpretată. În concepția sa, forțele corespunzătoare variabilelor dinamice acționează reciproc una asupra alteia, schimbându-și astfel proprietățile. El susține că o astfel de interpretare e sprijinită chiar de etimologia termenului de dinamic, care provine din cuvântul grec *dynamikos*, care însemna puternic.

Variabilele dinamice ale unui sistem pot fi interpretate și ca și grade de libertate ale acestuia (Kaneko, 1998). Astfel, numărul variabilelor dinamice ar determina, de fapt, numărul gradelor de libertate de care dispune sistemul.

Ecuația diferențială

În sens general, o ecuație diferențială e o ecuație prin care se stabilește un raport între o funcție și derivatele sale (Port și van Gelder, 1995). În

contextul sistemelor dinamice, ea e o ecuație care descrie rata schimbării într-o variabilă continuă dinamică în funcție de valoarea altor variabile dinamice și de propria ei valoare (după Port și van Gelder, 1995; Clayton, 1997). Port și van Gelder (1995) consideră că prin ecuațiile diferențiale se reprezintă, de fapt, forțele care acționează într-un sistem și care îi conferă acestuia dinamismul. O descriere care s-ar baza doar pe specificarea unei succesiuni de stări nu ar fi una de tip dinamic, ci una de tip cinematic.

Un exemplu ar fi următoarea ecuație diferențială care face parte din sistemul dinamic al lui Lorenz: $dx/dt = a(y-x)$. Aceasta stabilește legătura între rata schimbării variabilei dinamice **x** și variabila dinamică y, avându-se în vedere și propria sa valoare, a fiind o constantă.

Ecuație diferență (ecuație cu diferență finită, relație de recurență)

În general, prin intermediul unei relații de recurență se descrie modul în care se schimbă o variabilă discretă prin referire la o valoarea a sa anterioară. În contextul sistemelor dinamice, ea este o ecuație care descrie relațiile dintre variabilele dinamice când timpul este discret, definind schimbarea uneia în raport cu valoarea sa și valoarea celorlalte variabile din sistem la un moment de timp anterior. În forma sa cea mai simplă se formulează ca $x_{t+1} = f(x_t)$, dând valoarea variabilei x la momentul de timp următor în funcție de valoarea sa curentă. Într-o formă mai elaborată, ea se poate scrie și astfel: $x_{t+1} = f(x_t, x_{t-1}, ..., t_1)$, în care valoarea lui x la momentul de timp următor depinde și de valorile sale din momente de timp anterioare celei curente și chiar de timpul **t** (după Port și van Gelder, 1995). Exemplul cel mai cunoscut al unei relații de recurență care apare într-un sistem dinamic este aplicația logistică discretă (care va fi tratată pe larg mai jos): $x(t+1) = r\,x(t)\,[1-x(t)]$, unde **r** este o constantă.

Ecuații dinamice

Ecuațiile care stabilesc relațiile dintre variabilele dinamice. Ele pot fi ecuații diferențiale (pentru sistemele dinamice continue) sau ecuații diferență (pentru sisteme dinamice discrete), așa cum s-a văzut mai sus.

Parametru de control

Exprimat mai intuitiv, parametrul de control este o influență, un factor din afara sistemului de care poate depinde schimbarea în sistem, dar care nu este influențat de schimbarea vreuneia din variabilele dinamice ale sistemului. Uneori, schimbarea parametrului de control depinde de sistemul însuși ca întreg (van Gelder, 1998). Acești factori externi apar în ecuațiile

care exprimă relațiile dintre variabilele dinamice sub forma acelor constante sau coeficienți care influențează interacțiunea dintre ele sau pot controla acele constante (după Nowak și Lewenstein, 1994). Prin urmare, rolul parametrilor de control este de a determina gradul în care o variabilă este afectată de ea însăși și de alte variabile dinamice din sistem. Astfel de parametri de control sunt constanta a care a apărut în ecuația diferențială dată ca exemplu mai sus sau constanta r din aplicația logistică discretă. Pentru exemplul anterior, în care se considerau variabilele dinamice relevante în descrierea căderii unui măr, parametrii de control care influențează relațiile dintre ele sunt viteza vântului și magnitudinea forței gravitaționale.

Prin schimbarea parametrilor de control, un sistem își poate schimba regimul dinamic, sistemul fiind mutat în alte stări atractoare, prin împingerea lui în afara stărilor atractoare în care se afla (Woollacott și Jensen, 1996).

Așa cum s-a menționat și mai sus, Vallacher și Nowak (1994) remarcă faptul că un parametru de control poate fi privit ca un input nespecific, care nu conține nici o informație care să specifice sau care să prescrie paternul sau ordinea emergentă în comportamentul sistemului. De exemplu, pentru multe sisteme reale, energia ar putea juca un astfel de rol de parametru de control, prin a cărui modificare se produc schimbări calitative în comportamentul sistemului, trecându-se de la un nivel de ordine la altul, așa cum se întâmplă, de exemplu, când, prin încălzire, apa trece de la faza solidă la cea lichidă și apoi în cea gazoasă.

Tschacher et al. (2003) disting, raportat la un sistem dinamic, mai multe condiții ale mediului extern. Există condiții constante (structurale), constrângeri (după exemplul dat de ei, acestea se aseamănă cu malurile sau vasele care constrâng fluidele) și condițiile de mediu suplimentare care "energizează", "conduc", impulsionează sistemele. Dintre acestea, potrivit autorilor citați, doar condițiile din ultima categorie pot juca rolul de parametri de control.

Liniaritate, neliniaritate

Se poate vorbi de liniaritate și neliniaritate referindu-ne la sistemele dinamice în trei contexte diferite. Unul ar fi acela al caracterizării tipului de relații care se stabilesc între variabilele dinamice care se exprimă prin ecuații dinamice de tip liniar sau neliniar. Apoi ar fi acela al comportamentului sistemului dinamic, care poate fi specificat prin traiectorii care au o formă liniară sau neliniară. În final, se vorbește de o cauzalitate de tip liniar sau neliniar, după natura relațiilor dintre schimba-

rea condițiilor inițiale sau a parametrilor de control și efectele lor asupra comportamentului unui sistem dinamic.

Așa cum s-a amintit mai sus, ecuațiile dinamice ale unui sistem dinamic pot fi date de funcții de tip liniar sau neliniar. Funcțiile liniare, care se numesc astfel pentru că reprezentarea lor grafică e o linie dreaptă, au ca proprietate esențială posibilitatea de a se putea descompune sau compune prin însumare, adică f(x+y) = f(x) + f(y), ceea ce implicit înseamnă și că f(ax) = af(x), unde a este o constantă (Meiss, 2003). Pentru cazul ecuațiilor dinamice diferențiale, liniaritatea înseamnă că rata de schimbare (tendința de schimbare) a unei variabile dinamice va fi o funcție liniară de valoarea sa și a restului variabilelor dinamice. Goldberger (1996) se bazează pe proprietatea menționată mai sus atunci când consideră că sistemele liniare, adică sistemele ale căror componente sunt legate exclusiv prin relații liniare, au două caracteristici centrale: *proporționalitatea* și *superpoziția*. *Proporționalitatea* ar însemna că outputul lor are o relație directă (proporțională) cu inputul. *Superpoziția* se referă la faptul că, în concepția sa, comportamentul sistemelor liniare compuse din mai multe componente poate fi complet înțeles și prezis prin descompunerea lor în aceste componente și identificarea relațiilor de input-output dintre ele. Acest lucru este posibil tocmai pentru că outputul lor e pur și simplu o sumă a outputurilor componentelor lor și, de aceea, nu vor exista surprize sau comportament deviant. Într-o altă formulare, ar însemna că un sistem liniar este un sistem pentru care răspunsul său la mai multe inputuri simultane este egal cu suma răspunsurilor sale la fiecare dintre ele (Inder, 1996).

Comportamentul și proprietățile sistemelor dinamice liniare se pot defini și altfel, fără a se face apel la noțiunile de input și output, care pot fi ambigue. Proprietatea superpoziției e legată de faptul că, într-un sistem liniar, dacă se găsesc două soluții ale sistemului de ecuații, atunci și suma lor va fi o soluție a sistemului, adică soluțiile sunt sumative. Acest lucru face posibilă aflarea tuturor soluțiilor, adică identificarea completă a tuturor tipurilor de orbite pe care poate evolua un sistem liniar, doar prin găsirea a două soluții independente ale sistemului (după Saunders, 1993). Proporționalitatea s-ar referi la faptul că un sistem dinamic liniar va evolua spre o stare staționară în absența vreunei influențe din exterior, spre o stare constantă când influența exterioară e constantă sau va oscila cu o frecvență dată de frecvența de oscilație a unei influențe exterioare. Pentru că, așa cum arată Saunders (1993), o ecuație diferențială liniară de prim ordin poate avea o singură soluție, un unic punct critic, dacă acesta e

stabil, sistemul va rămâne în echilibru, iar dacă el este perturbat, după perturbare, se va reîntoarce la el. Dacă el este instabil, sistemul nu va rămâne în el. van Geert (1998) deduce din aceasta şi că fluctuaţiile unui sistem dinamic liniar sunt independente de interacţiunile din cadrul lui, de dinamica sa intrinsecă, şi se datorează exclusiv factorilor externi.

Cele spuse mai sus ne pot conduce la concluzia că influenţele externe au un efect cauzal liniar asupra comportamentului unui sistem dinamic liniar. În plus, se discută de cauzalitatea de tip liniar şi când există o secvenţă de evenimente sau de sisteme care se determină succesiv, în mod unidirecţional (Kirshbaum, 2002).

Se impune observaţia că sistemele dinamice liniare pot avea traiectorii care să nu fie linii drepte. Acest lucru se remarcă în Figura 1 în care sunt ilustrate formele posibile ale traiectoriilor unui sistem dinamic liniar.

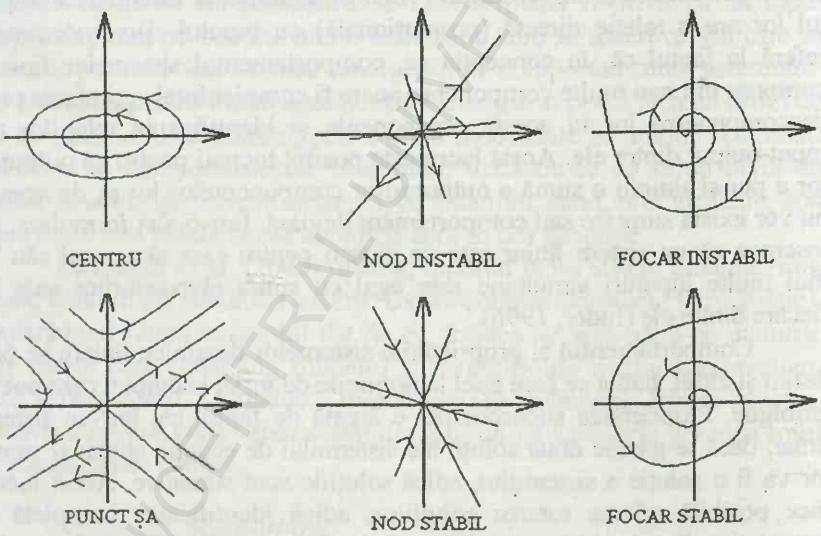


Fig. 1 Formele traiectoriilor posibile ale unui sistem liniar (după Parker, 1999)

În plus, şi în sistemele liniare se întâlneşte fenomenul sensibilităţii la condiţiile iniţiale, în sensul că poate să aibă loc o divergenţă rapidă a traiectoriilor unui sistem dinamic care pleacă din două puncte iniţiale foarte apropiate. Un exemplu ar fi acela al traiectoriilor soluţiilor pentru ecuaţia diferenţială exprimând creşterea exponenţială: $dx/dt = kx$, unde **k** este o

constantă de proporționalitate. După cum se poate constata, aceasta este o ecuație liniară.

Despre funcțiile neliniare s-ar putea spune, la modul cel mai simplu, că sunt acele funcții care nu sunt liniare (Meiss, 2003), dându-le astfel o definiție negativă, specificând ceea ce nu sunt ele. O definiție pozitivă a lor ar fi una în care, dacă avem o funcție f(x) = y, y se va obține prin înmulțirea variabilei x cu alte variabile (adică nu cu constante) sau cu ea însăși, adică prin ridicarea sa la o anumită putere (Clayton, 1997) sau, potrivit lui Saunders (1993), prin introducerea unor funcții nepolinomiale (cum sunt cele trigonometrice). În cazul ecuațiilor dinamice, acest lucru înseamnă că tendința de schimbare a unei variabile va fi o funcție neliniară de propria sa valoare și a restului variabilelor dinamice.

Saunders (1993) arată că tranziția de la liniar la neliniar înseamnă că e posibilă existența unor soluții multiple (nu doar o singură soluție ca pentru ecuațiile liniare) și că pot să apară soluții de un tip nou, cum sunt cele exprimate prin numere complexe.

Sistemele dinamice neliniare sunt acele sisteme în care cel puțin una dintre ecuațiile lor dinamice este de tip neliniar, implicând o funcție de acest gen. S-ar putea deduce de aici că e posibilă o gradare a nelinearității (Meiss, 2003), de exemplu, în funcție de numărul ecuațiilor dinamice neliniare existente în sistem sau de puterea la care e ridicată o variabilă (adică de cât de neliniară este fiecare din ele). Dintr-un alt punct de vedere, Lucas (2002) caracterizează un sistem neliniar ca unul pentru care outputul devine o funcție de el însuși. Voinea și Stroe (2000) evidențiază trei caracteristici importante în comportamentul sistemelor neliniare: 1) față de sistemele liniare, care pentru inputuri periodice generează outputuri tot periodice și de aceeași perioadă cu cea a inputurilor, la cele neliniare outputurile vor fi de altă perioadă sau chiar neperiodice sau haotice; 2) prezintă variații bruște în comportament ca amplitudine sau ca frecvență (catastrofele); 3) pot să-și piardă sau să-și câștige brusc stabilitatea. Acestea sunt o consecință a relațiilor multiplicative care apar între variabilele sistemului. Caracteristicile menționate mai sus fac ca un sistem neliniar sa fie unul care are limite, adică minime și maxime (Lucas, 2002). O altă proprietate a sistemelor neliniare este cea evidențiată de van Geert (1998), care arată că fluctuațiile unui astfel de sistem nu depind exclusiv de factorii externi, ele putând să crească sau să scadă chiar înainte ca procesul să realizeze o tranziție discontinuă către un nou regim dinamic, fiind, prin urmare, o caracteristică a dinamicii sale intrinseci de

tranziție. Rosenstein, Collins și De Luca (1993) consideră că sistemele neliniare ar avea și o proprietate pe care ei o numesc *universalitate*, adică ele prezintă, în mod surprinzător, anumite paternuri comune de răspuns, cum ar fi schimbarea bruscă, amintită mai sus, în ciuda faptului că diferă foarte mult în detaliile lor specifice.

Clayton (1997) face o distincție importantă între neliniaritatea unui sistem dinamic și neliniaritatea comportamentului său. Astfel, el arată că funcția care specifică schimbarea într-un sistem poate să fie neliniară, ceea ce face ca el să fie un sistem neliniar, dar nu e necesar ca el să aibă un comportament neliniar în astfel de condiții. Potrivit lui Heath (2000), un sistem neliniar care evoluează în timp poate avea un comportament clasificat ca stabil (care poate fi linear), complex, haotic sau instabil. E considerat stabil dacă sistemul atinge, într-un final, o singură stare constantă sau ajunge să aibă un comportament ciclic și orice încercare de a-l devia de la acest curs va fi compensată de sistem prin tendința de a-și relua vechiul drum din noua stare în care a fost adus. La tranziția dintre comportamentul stabil și cel haotic s-ar afla cel complex, care apare când sistemul ajunge la limita haosului, când pentru intervale de variație foarte mici ale parametrilor de control este posibil să apară, în mod spontan, structuri emergente ordonate. Comportamentul haotic apare după ce parametrii de control au depășit valorile caracteristice comportamentului complex. Se poate conchide, așa cum evidențiază Saunders (1993), că față de sistemele liniare, în comportamentul celor neliniare există posibilitatea apariției nu doar a unui punct stabil, ci a mai multor puncte stabile (sistemele neliniare putând să ajungă, în funcție de condițiile inițiale, în stări finale diferite), și nu doar a unor puncte stabile, ci și a unor traiectorii stabile care, în plus, pot fi extrem de complexe, cum sunt cele haotice.

Este de evidențiat faptul că comportamentul sistemelor neliniare este mult mai variat, interesant și mai sofisticat decât cel al celor liniare, ceea ce îl face să semene mai mult cu modalitățile de evoluție în timp ale fenomenelor naturale. Așa cum remarcă Lucas (2002), e surprinzător și paradoxal că o mare parte a științei și a matematicii cunoscute s-a preocupat mult timp în special de procesele, sistemele, relațiile liniare, când în ultimul timp s-au acumulat din ce în ce mai multe dovezi că fenomenele naturale sunt, în general, rezultatul unor relații de tip neliniar, liniaritatea fiind o aproximare care funcționează acceptabil doar pentru durate relativ scurte. Meiss (2003) arată și el că nici un proces real nu e cu adevărat liniar, chiar dacă orice model neliniar cu dimensiune finită (adică

cu un număr finit de variabile) se poate transforma într-un model liniar cu dimensiune infinită. Un argument pe care îl aduce Lucas (2002) în favoarea neliniarității proceselor naturale este și acela că nici unul din ele nu este complet nelimitat, fără să aibă vreo condiționare sau restrângere care și-ar avea sursa în neliniaritate. Prin urmare, în natură ar predomina o schimbare, o cauzalitate de tip neliniar, circulară, care, potrivit definiției date de Kirshbaum (2002), e una în care elementele care le determină pe altele sunt la rândul lor modificate, determinate de cele pe care le-au modificat, schimbarea fiind bidirecțională. Am putea spune că astfel apare cuplarea condițională, pe care Boutot (1997) o consideră ca o caracteristică a neliniarității. Neliniaritatea cauzalității mai înseamnă, în contextul sistemelor dinamice, și sensibilitatea la condițiile inițiale, când diferențe mici între cauze duc la diferențe extrem de mari între efecte, sau fenomenul invers, când cauze diferite duc la același efect, cum se întâmplă când un sistem dinamic (indiferent dacă e liniar sau neliniar) evoluează spre aceleași stări finale atractoare.

Câmp vectorial

Câmpul vectorial e definit la modul general ca o funcție $F:R^n \rightarrow R^n$ (Weisstein, 1999), ceea ce înseamnă că prin ea se asociază un vector fiecărui punct din domeniul său de definiție. Port și van Gelder (1995) arată că un câmp vectorial e echivalent, de fapt, cu o ecuație diferențială și reprezintă o cale de a reprezenta efectul său, pentru că redă rata și direcția schimbării unei stări, definind ceea ce se numește a fi un *flux*. Exemple de câteva câmpuri vectoriale sunt redate în Fig. 2, pentru mai multe tipuri de funcții. Se poate urmări în aceste reprezentări grafice conturarea unor linii de câmp, care definesc traiectorii în spațiul stare în cazul sistemelor dinamice. Direcția vectorilor (reprezentați prin săgeți) indică direcția spre care evoluează instantaneu un punct din spațiul fază, iar mărimea lui indică rata schimbării, cât de rapidă e aceasta.

BCU IAȘI

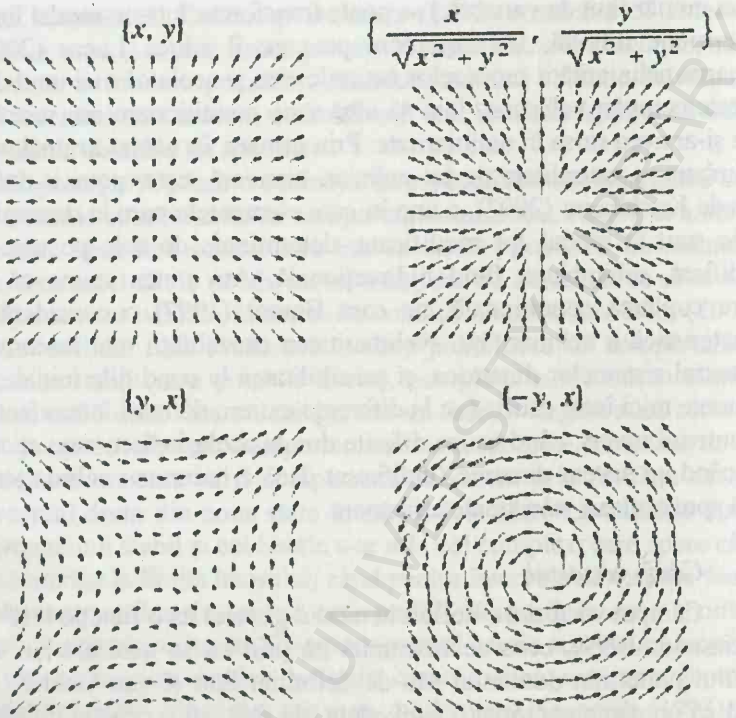


Fig. 2 Câmpuri vectoriale, săgeţile reprezentând vectori daţi de funcţiile specificate în partea de sus a fiecărui tip de câmp (după Weisstein, 1999)

Varietate

După definiţia dată de Port şi van Gelder (1995), varietatea e un obiect geometric care are local mai puţine dimensiuni decât spaţiul în care poate fi încorporat. De exemplu, suprafaţa unei sfere, a unui obiect toroidal sau a unui obiect cum e banda Moebius poate fi considerată local bidimensională, deşi în întregul ei ea este încorporabilă doar într-un spaţiu tridimensional. Plecând de la acest exemplu, e de înţeles de ce orice varietate este privită ca analogul multidimensional al unei suprafeţe curbate. O linie curbă este o varietate pentru un spaţiu bidimensional în care este încorporată, pentru că local ea este unidimensională. Din exemplele date mai sus se constată şi o altă proprietate a varietăţii, aceea că trebuie să fie o mulţime compactă de puncte (fără zone de întrerupere)

din spațiul în care e încorporată, tocmai de aceea ea fiind considerată obiect geometric. O altă proprietate este cea evidențiată de Tufillaro, Reilly și Abbott (1992), care arată că o varietate trebuie să fie "netedă" (în engleză: "smooth"), adică să nu aibă margini ascuțite, abrupte. De exemplu, suprafața unui cilindru infinit este o varietate, dar nu și suprafața unui con, pentru că are un vârf ascuțit. Această condiție asigură posibilitatea ca în fiecare punct al varietății să se poată folosi un sistem de coordonate local.

După cum s-a menționat în una din secțiunile anterioare, noțiunea de varietate e importantă pentru definirea sistemelor dinamice continue, fiind suportul dinamicii, câmpul vectorial care descrie tendințele de schimbare pentru fiecare stare a sistemului fiind definit pe o astfel de varietate. Acest câmp vectorial este acea funcție care asociază fiecărui punct al varietății un vector tangent la aceasta.

Spațiul stare și spațiul fază

În general, spațiul stare și spațiul fază ale unui sistem dinamic sunt tratate de cei mai mulți autori ca fiind sinonime și ca referindu-se la un spațiu în care se descrie comportamentul sistemului. Dimensiunile acestuia corespund variabilelor acelui sistem dinamic (Ward și West, 1994), el incluzând mulțimea stărilor posibile ale sistemului (Meiss, 2003). Cu alte cuvinte, ar fi un spațiu al configurațiilor în care se poate afla sistemul.

Există însă și autori care fac o distincție între spațiul fază și spațiul stare, însă fiecare folosește criterii diferite. Astfel, Meiss (2003) și Newtson (1994) consideră că spațiul stare e un spațiu concret, iar spațiul fază e unul abstract. Oaksford și Malloch (1994) arată că dacă legea dinamică depinde doar de starea prezentă, atunci spațiul fază și spațiul stare coincid. Dacă legea dinamică definește starea sistemului la următorul moment de timp în termenii stării la momentul prezent și, posibil, a unui număr finit de momente de timp din trecut, atunci setul de stări cerute de legea dinamică pentru a determina ce se va întâmpla la următorul moment de timp se va numi stare în spațiul fază, care va fi, în acest caz, diferit de spațiul stare. Pentru Port și van Gelder (1995), spațiul stare al unui sistem dinamic e spațiul punctelor ale cărui coordonate specifică în mod complet starea acelui sistem dinamic. Pentru un sistem cu timp continuu el reprezintă spațiul tuturor condițiilor inițiale a căror alegere determină în mod unic o soluție pentru sistemul de ecuații diferențiale. Dimensiunea acestuia va fi dată de numărul condițiilor inițiale cerute

pentru a-i specifica traiectoria în mod unic, ceea ce coincide cu numărul variabilelor din sistem. În schimb, în concepția autorilor citați mai sus, spațiul fază e un termen care se referă în mod specific la spațiul stare al unui sistem care are, de obicei, cel puțin o axă obținută ca o derivată de timp a unei variabile (cum ar fi viteza de exemplu). Bax (2002), însă, susține că spațiul stare ar fi sintagma corespunzătoare sistemelor discrete, iar spațiul fază cea corespunzătoare celor continue, pentru a desemna mulțimea tuturor stărilor posibile în care se poate afla sistemul. Un alt autor, Banerjee (n. d.), apreciază că e vorba doar de o diferență de terminologie în domenii de activitate diferite, spațiul stare fiind sintagma preferată de ingineri, iar spațiul fază cea preferată de fizicieni. Se constată că, indiferent de termenii folosiți, ideea generală este aceeași, chiar dacă uneori ei sunt utilizați în mod specific în anumite contexte. De aceea, în cele de față ei vor fi considerați cvasisinonimi, preferându-se, de cele mai adesea, sintagma de spațiu stare.

Newtson (1994) consideră că spațiul stare oferă nu doar o descriere a comportamentului unui sistem concret, ci și o măsură obiectivă a conținutului informațional al acestuia. Când spațiul stare al unui sistem devine mai mare (de exemplu prin adăugarea de energie) și valoarea sa informațională va fi mai mare, dacă restul condițiilor sunt neschimbate. S-ar spune, în acest caz, că informația curge în sistem. Dacă spațiul se micșorează, de exemplu prin pierdere de energie, se pierde și informație, ea curgând din sistem. Prin urmare, variația în spațiul stare a sistemului poate fi văzută ca flux informațional. Într-un sistem stabil, care are un spațiu stare constant, și valoarea sa informațională va fi constantă. Considerațiile de mai sus sunt valabile pentru situația în care stările spațiului fază sunt văzute ca echiprobabile. În situația în care se ia în considerare structura spațiului fază, dată de mulțimile limită (care vor fi definite mai jos) prezente în acesta, se discută și de alte tipuri de fluxuri informaționale. Acestea se datorează structurii interne a spațiului, dar sunt apreciate a fi mult mai mici decât fluxurile informaționale care apar prin schimbarea unui parametru de control sau prin adăugarea sau eliminarea unor variabile din sistem.

Spațiul stare poate fi de mai multe tipuri: numeric (dacă stările lui sunt valori numerice) sau simbolic, continuu, discret sau mixt (continuu și discret), iar după numărul variabilelor necesare pentru a descrie în mod complet starea unui sistem poate fi cu dimensionalitate finită sau infinită (Beer, 2000).

De exemplu, forma spațiului fază pentru cazul sistemului dinamic corespunzător mișcării unui pendul fără frecare e o varietate care e dată de suprafața unui cilindru.

Starea curentă, vectorul de stare

Vectorul de stare e acel vector ale cărui componente sunt valorile pe care le are starea unui sistem dinamic cu **n** variabile dinamice la momentul **t** pe fiecare din variabilele dinamice: x_1, x_2, .., x_n (Voinea și Stroe, 2000).

Starea curentă a unui sistem dinamic e determinată în baza valorilor curente ale variabilelor dinamice care compun sistemul (Clayton, 1997). În termeni foarte similari, Abraham (1996) o consideră ca o realizare a sistemului, specificată de vectorul valorilor variabilelor dinamice din sistem la fiecare moment, adică de vectorul de stare. Definiția aceasta e importantă pentru că evidențiază starea ca o actualizare în comportament a structurii potențiale, virtuale, a sistemului dinamic. Starea reală a sistemului, descrisă de valorile variabilelor dinamice, e interpretată geometric ca un punct în spațiul stare. Acel punct este sistemul dinamic la un moment dat și mișcarea lui va însemna că starea sistemului s-a schimbat. Din altă perspectivă, starea curentă ar putea fi privită ca valoarea la un moment dat a unei variabile multidimensionale (vectorul) care se schimbă în timp în mod sistematic.

Salthe (1991) consideră că pentru un sistem dinamic schimbarea stării curente indică o schimbare cantitativă, iar schimbarea dinamicii sale ar fi una calitativă. Prin urmare, ar trebui să se facă distincție între starea unui sistem și regimul dinamic în care se află el, care ar putea fi privit însă, la o altă scară temporală, tot ca o stare.

Mărimile prin care se descrie starea unui sistem dinamic pot fi reprezentate fie printr-un scalar (număr), fie printr-un vector, fie printr-un câmp scalar sau vectorial (Codreanu, 2007). Exemplul cel mai simplu și cel mai frecvent folosit prin care se poate ilustra noțiunea de stare a unui sistem dinamic este acela al unui pendul aflat în mișcare. Dacă e vorba de un pendul care nu e impulsionat din exterior, pentru a descrie starea sa este suficient să se cunoască valoarea la fiecare moment pentru două variabile de stare: unghiul și viteza unghiulară (viteza cu care se schimbă unghiul de înclinare a pendulului), acestea fiind cele două variabile dinamice care modelează printr-un sistem dinamic pendulul în mișcare (Codreanu, 2007). În acest caz, starea e descrisă prin mărimi scalare. Dacă însă pendulul este impulsionat periodic din exterior, e necesar să se cunoască și forța și frecvența cu care pendulul este impulsionat

(Codreanu, 2007), starea fiind descrisă şi prin mărimea vectorială asociată forţei impulsionării. Pentru un fluid însă (ca sistem dinamic complex), starea sa va putea fi definită de un câmp de viteze (Codreanu, 2007).

Vectorul câmp al sistemului

E vectorul ale cărui componente sunt date de funcţiile prin care se defineşte relaţia unei variabile dinamice a sistemului dinamic cu restul variabilelor sale (Voinea şi Stroe, 2000).

Iteraţie

Termenul de iteraţie e folosit cu sensuri similare în contexte diferite. Pentru Mandel (1995) ea înseamnă procesul de alimentare a outputului unei ecuaţii, înapoi, în aceeaşi ecuaţie, ca un nou input. Acest lucru ar însemna că pentru a calcula valoarea următoare a unei variabile trebuie să se introducă în ecuaţie valoarea precedentă a acelei variabile şi a celorlalte variabile de care ea depinde (van Geert, 1998). Ca urmare, s-a definit ceea ce se numeşte o *ecuaţie iterativă*, ca un proces matematic în care rezultatul fiecărei computaţii devine valoare iniţială pentru următoarea computaţie (Kauffman, 1987, 1996; Kauffman şi Varela, 1980, în Kauffman şi Sabelli, 1998). Kauffman şi Sabelli (1998) evidenţiază faptul că ecuaţia iterativă e instrumentul matematic prin care se poate studia dinamica formei, prin dinamica autoreferinţei. De aceea, ea ar fi folosită pe o scară din ce în ce mai largă pentru a modela fenomene naturale, pentru că permite înlocuirea sau completarea unei perspective statice cu una procesuală, dinamică.

Cu un sens echivalent, iteraţia mai e definită ca procesul reintroducerii outputului unei funcţii în aceeaşi funcţie, ca un nou input, adică o aplicare repetată a aceleiaşi funcţii, putând servi ca model matematic pentru un ciclu de feedback (Modis, 1992; Peak şi Frame, 1994, în Warren şi Franklin, 1998). De exemplu, pentru o funcţie $g(x)$, printr-o primă iteraţie se obţine $g(g(x))$.

Într-un context mai specific, iteraţia înseamnă şi procesul de calcul al noii stări a unui sistem dinamic discret (Clayton, 1997).

Lege dinamică (operatorul de evoluţie, regula de actualizare)

Pentru sisteme dinamice cu timp discret (cascade), legea dinamică determină ce punct va urma sau cât de mult se schimbă variabilele (Shalizi, 2006).

Pentru un sistem dinamic cu timp continuu (flux), legea dinamică dă ratele de schimb ale tuturor variabilelor ca funcție de starea curentă a sistemului, fiind echivalentă cu câmpul vectorial, indicându-ne direcția în care se va muta un punct din spațiul stare (Shalizi, 2006). În sistemele discrete, legea dinamică determină, pe baza stării curente, starea la momentul de timp următor, pe când pentru cele continue, ea determină modul în care starea curentă va evolua *instantaneu* (Banaji, 2005).

Legea dinamică poate fi dată explicit sau să fie implicită, poate fi una de tip determinist (când determină în mod unic starea viitoare) sau să fie stocastică (când determină probabilitatea stărilor viitoare) sau poate avea inputuri (pentru sistemele neautonome), adică să se schimbe în timp, sau să nu aibă inputuri (pentru sistemele autonome), adică să nu fie influențată de factori externi care se schimbă în timp (Beer, 2000). Tufillaro et al. (1992) menționează o distincție suplimentară, aceea dintre o lege dinamică deterministă, care determină în mod unic stările viitoare și cele trecute pe baza stării prezente, pe când o lege semideterministă determină în mod unic doar stările viitoare pe baza stării curente.

Imagine

Starea **y** care rezultă din aplicarea legii dinamice stării **x**, adică starea care urmează potrivit legii dinamice atunci când orientarea timpului este pozitivă.

Preimagine

Este starea **x** care duce, prin aplicarea legii dinamice, la starea **y** (Meiss, 2003). Adică, ar fi vorba de starea care ar urma, potrivit legii dinamice, dacă orientarea timpului ar fi negativă, parcurgându-se traiectoria sistemului în sens invers.

Condiție inițială (Stare inițială)

Starea din care pornește o evoluție continuă în timp a unui sistem dinamic, adică starea sa la momentul zero. Pentru fiecare condiție inițială se caută o soluție pentru sistemul de ecuații dinamice, care va defini traiectoria sistemului în spațiul stare care pornește din punctul corespunzător acelei stări inițiale.

Comportamentul sistemului

La modul cel mai general, comportamentul sistemului e definit de tranziția dintre stări (van Gelder, 1998). Totuși, consider că se poate vorbi de comportament al unui sistem dinamic în trei sensuri. Primul e cel amintit mai sus, ca traiectorie a sa în spațiul fază sau ca și model al traiectoriilor sale în spațiul fază. Al doilea sens ar putea fi acela al efectului pe care îl are asupra unui alt sistem cu care este cuplat. Acest al doilea sens este important mai ales din punct de vedere pragmatic, pentru că în multe situații ne putem da seama de starea unui sistem dinamic real doar prin interacțiunea acestuia cu sistemele reprezentate de instrumentele de măsură pe care le folosim (de exemplu, starea unui sistem gazos dată de temperatura sa, ca parametru de ordine, poate fi stabilită doar cu ajutorul unui termometru). Un al treilea sens s-ar referi la comportamentul sistemului la o scară temporală superioară, la regimul său dinamic dat de valoarea parametrilor de control.

Orbită și traiectorie

De obicei, cei doi termeni sunt folosiți indistinct pentru a desemna schimbarea stării sistemului în timp, reflectată în mișcările punctului care reprezintă starea sistemului în spațiul stare (Nowak și Lewenstein, 1994; Ward și West, 1994). O definiție mai specifică e dată de Abraham (1996), care caracterizează traiectoria ca o succesiune de stări prin care sistemul trece după ce s-a specificat o stare inițială a lui, precizând astfel că orice stare inițială are asociată o traiectorie proprie.

Port și van Gelder (1995) disting între cei doi termeni, traiectoria unui sistem dinamic continuu (flux) fiind numită orbită, termenul de traiectorie folosindu-se doar pentru secvența valorilor care se obțin prin aplicarea repetată a funcției care definește legea dinamică pentru un sistem dinamic cu timp discret (cascadă). Tufillaro et al. (1992) preferă, în schimb, termenul de orbită pentru sistemele discrete (ca șir de puncte din spațiul stare), iar cel de traiectorie pentru cele continue. Ținând cont de aceste diferențe de utilizare între diverși autori și că sensul este același, e de preferat ca cei doi termeni să fie considerați sinonimi.

Romero și Vázquez (1998), precum și Kühn (2005) fac o altă distincție. Traiectoria ar fi o reprezentare a evoluției în timp a sistemului într-un spațiu în care, în afară de variabilele dinamice, apare și timpul, fiind numită de Kühn (2005) și *curba soluției*, pe când orbita ar fi o reprezentare a evoluției sale într-un spațiu care are ca și coordonate doar variabilele dinamice, numindu-se și *curbă de fază* (Kühn, 2005). Traiectoria se poate vizualiza doar pentru sisteme dinamice care au cel mult două variabile și,

de aceea, se preferă reprezentarea orbitei pentru restul cazurilor. Cele două tipuri de reprezentări grafice ale evoluției în timp a unui sistem dinamic sunt ilustrate în Fig. 3, respectiv Fig. 4.

Banaji (2005) evidențiază faptul că într-un sistem dinamic autonom traiectoriile nu se pot intersecta, ceea ce înseamnă că pentru fiecare stare inițială există o singură traiectorie care îi corespunde.

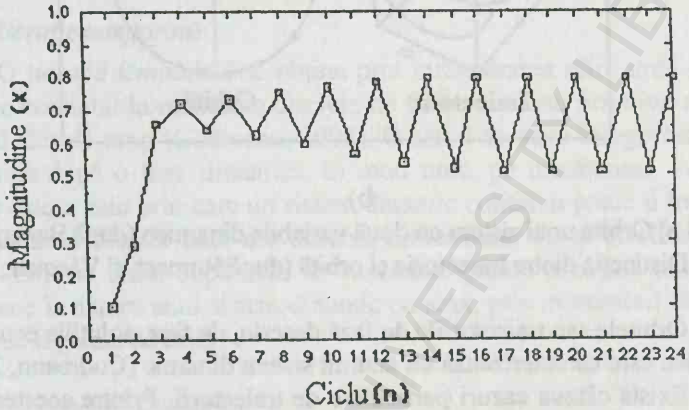
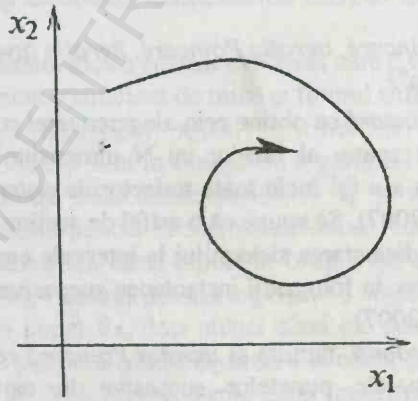
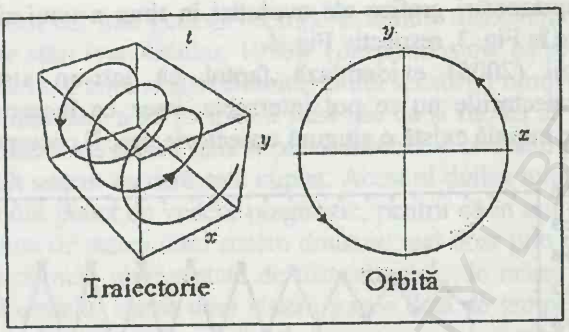


Fig. 3 Traiectoria aplicației logistice discrete (o cascadă) pentru o variabilă x, pentru o valoare a parametrului de control pentru care sistemul ajunge în final să aibă o oscilație ciclică (după Clayton, 1997)



a)

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



b)

Fig. 4 a) Orbita unui sistem cu două variabile dinamice (după Banerjee, n. d.); b) Distincția dintre traiectorie și orbită (după Romero și Vázquez, 1998)

Orbitele sau traiectoriile de fază descriu, de fapt, soluțiile ecuațiilor dinamice care caracterizează un anumit sistem dinamic (Codreanu, 2007).

Există câteva cazuri particulare de traiectorii. Printre acestea, cele mai des întâlnite în cadrul diverselor aplicații sunt acela al traiectoriilor heteroclinice și acela al celor homoclinice. Când o traiectorie unește puncte fixe, nefiind o curbă închisă, se vorbește de o *traiectorie heteroclinică*, iar când o traiectorie pleacă dintr-un punct fix și se întoarce tot la el se numește *traiectorie homoclinica* (Codreanu, 2007).

Secțiunea Poincaré, iterația Poincaré, iterația inversabilă (în engleză, "return map")

Secțiunea Poincaré se obține prin alegerea unei suprafețe cu (N-1) dimensiuni dintr-un spațiu al fazelor cu N dimensiuni al unui sistem dinamic continuu în așa fel încât toate traiectoriile sistemului să îl intersecteze (Codreanu, 2007). Se spune că o astfel de secțiune este stroboscopică pentru că ea indica starea sistemului la intervale egale de timp, prin analogie cu realizarea de fotografii instantanee succesive pentru a reda o mișcare (Codreanu, 2007) .

Iterația inversabilă, numită și *iterația Poincaré* reprezintă funcția care leagă coordonatele punctelor succesive în care o traiectorie intersectează o secțiune Poincaré (Codreanu, 2007). Ea este o iterație pentru că un punct de intersecție a unei traiectorii cu o astfel de secțiune

va determina în mod unic următorul punct de intersecție al acelei traiectorii cu acea secțiune (Codreanu, 2007). După cum menționează și Codreanu (2007), iterația Poincaré este o cale prin care un sistem dinamic continuu poate fi transformat într-un sistem dinamic discret, care are cu o dimensiune mai puțin (o variabilă a sistemului fiind păstrată, de fapt, constantă).

Iterație temporală

O *iterație temporală* se obține prin înregistrarea stării unui sistem dinamic continuu la momente discrete de timp, separate printr-un același interval ales de timp (Codreanu, 2007). O astfel de stare înregistrată o va determina după o lege dinamică, în mod unic, pe următoarea. Această iterație este o cale prin care un sistem dinamic continuu poate fi transformat într-unul discret care are aceeași dimensiune ca și el (Codreanu, 2007). Ea este utilă, după cum se va vedea, pentru a obține informații privitoare la natura unui sistem dinamic concret, prin măsurători făcute la intervale regulate de timp.

Exponenții Lyapunov

Foarte pe scurt, se spune că un exponent Lyapunov măsoară rata cu care traiectoriile apropiate inițial converg sau diverg, fiind o măsură a sensibilității la condițiile inițiale (Meiss, 2003). Cu alte cuvinte, el cuantifică divergența exponențială a unor traiectorii ale spațiului fază care erau inițial apropiate și estimează cantitatea de haos în sistem (Rosenstein et al., 1993).

Formula matematică a acestui exponent care e valabilă când distanța inițială dintre puncte e suficient de mică și timpul suficient de lung este: $\lambda = 1/tln\{d[x_1(t), x_2(t)]/d[x_1(0), x_2(0)]\}$ (Nowak și Lewenstein, 1994). Adică, acești exponenți sunt în funcție de logaritmul natural al raportului dintre distanța dintre traiectoriile punctelor x_1 și x_2 la momentul t și distanța dintre aceste puncte la momentul inițial, când $t = 0$ și exprimă rata cu care se modifică acest raport în timp. Așa cum arată Nowak și Lewenstein (1994), valoarea acestui exponent e negativă când traiectoriile sunt atrase de un punct fix, deci atunci când ele converg, distanța dintre ele scăzând, și e pozitivă când mișcarea e haotică, pentru că traiectoriile diverg exponențial. Valoarea sa e zero când traiectoriile converg către un ciclu limită, pentru că ambele traiectorii devin oscilații periodice în decursul timpului, dar distanța dintre ele rămâne finită și constantă. Prezența

unui exponent pozitiv este suficientă pentru a diagnostica haosul, cu ajutorul său putându-se determina *instabilitatea locală într-o anumită direcție* (Rosenstein et al., 1993).

Shalizi (2006) specifică faptul că exponentul Lyapunov se poate defini separat pentru fiecare axă a spațiului stare, ca o măsură care dă procentul prin care distanța dintre două puncte apropiate de pe acea axă crește sau scade în cursul evoluției sistemului. Dar exponentul Lyapunov se calculează și pentru întreg sistemul, prin însumarea exponenților obținuți pentru fiecare axă a spațiului stare.

Uneori se folosește și *numărul Lyapunov*, logaritmul acestuia fiind exponentul Lyapunov (Codreanu, 2007).

Mulțime invariantă

O mulțime invariantă e acea mulțime de puncte ale căror puncte imagini sunt incluse în acea mulțime, adică mulțimea de puncte care își sunt propria lor imagine, fiind lăsate neschimbate de legea dinamică (după Shalizi, 2006). Cu alte cuvinte, dacă un sistem dinamic pleacă dintr-un punct al acelei mulțimi, nu o va mai părăsi într-un timp finit (Kühn, 2005). Banaji (2005) specifică în plus cerința ca orice traiectorie care pornește dintr-o mulțime invariantă să rămână în cadrul ei pentru totdeauna, indiferent dacă orientarea timpului e pozitivă sau negativă. Tot el evidențiază și că orice traiectorie individuală sau mulțime de traiectorii constituie o mulțime invariantă, pentru că reprezintă regiuni din spațiul fază care conțin traiectoriile în întregime, adică dacă ele conțin un punct al traiectoriei, ele vor conține orice punct al acelei traiectorii.

Tufillaro et al. (1992) arată că mulțimile invariante sunt utile pentru a descompune spațiul fază, pentru că se comportă ca și granițe în cadrul lui, restrângând traiectoriile la submulțimi ale acestuia. De aceea, se va putea studia în mod separat dinamica din cadrul fiecărui set invariant, pentru ca ulterior să se caute o dinamică globală.

Mulțime limită

O mulțime limită este o mulțime de stări în care sistemul tinde să ajungă după o perioadă de timp infinită. Cu alte cuvinte, este o mulțime alcătuită din puncte reprezentând limite în evoluția sistemului care pleacă de la diferite stări inițiale, ceea ce echivalează cu un comportament asimptotic. Ajungerea unei traiectorii a sistemului într-o mulțime limită nu înseamnă că ea va rămâne acolo pentru totdeauna, pentru că noțiunea de mulțime limită nu se referă la stabilitatea sistemului, adică la compor-

tamentul sistemului în situația în care sistemul este perturbat, îndepărtându-l de acea mulțime limită. Mai jos se vor defini tipuri de mulțimi limită, după stabilitatea sistemului care a ajuns în stări ale unor astfel de mulțimi.

Banaji (2005) consideră că mulțimile limită sunt mulțimi invariante reprezentând tipuri speciale de traiectorii, care definesc regiuni în spațiul fază spre care orbitele sistemului se îndreaptă fie atunci când timpul are o orientare pozitivă, fie când are o orientare negativă (adică atunci când se inversează sensul timpului). De aceea, ele fie vor atrage orbite (când direcția timpului e pozitivă), fie vor respinge orbite (când direcția timpului e negativă). Același autor menționat mai sus evidențiază și ideea că, deopotrivă pentru un sistem dinamic discret ca și pentru unul continuu, dacă o traiectorie intră și nu mai părăsește o regiune limitată și închisă din spațiul fază (o mulțime invariantă), atunci ea trebuie să ajungă undeva, adică să aibă puncte limită. El se bazează pe o teoremă potrivit căreia o secvență infinită care se află într-un spațiu compact trebuie să aibă puncte limită. De aici decurge și faptul că, pentru un sistem dinamic, o traiectorie care nu evoluează către o mulțime limită în mod necesar evoluează spre infinit. Cu alte cuvinte, traiectoriile unui sistem dinamic ori evoluează spre infinit, ori tind să ajungă într-o mulțime invariantă închisă, adică într-o mulțime limită. E importantă observația făcută de Banaji (2005) că, în general, traiectoriile nu ating propriu-zis această mulțime limită, ci doar tind să ajungă arbitrar de aproape de ea. Pentru că toate punctele de pe o traiectorie au aceeași mulțime limită se poate vorbi de mulțimea limită a unei traiectorii. Pentru un punct din spațiul fază, mulțimea limită care îi corespunde, pentru cazul în care direcția timpului e pozitivă, este alcătuită din mulțimea punctelor de care se apropie traiectoria sistemului care trece prin acel punct, mai precis doar acele puncte de care această traiectorie se apropie arbitrar de mult. Aceeași definiție e valabilă și pentru mulțimea limită corespunzătoare cazului în care orientarea timpului e negativă. O traiectorie care are aceeași mulțime limită, indiferent de orientarea timpului, se numește *homoclinică* (fiind o curbă aproape închisă, lipsindu-i doar punctele mulțimii limită pentru a fi complet închisă), iar una care are mulțimi limită diferite pentru cele două orientări se numește *heteroclinică*.

Așa cum s-a menționat și mai sus, mulțimile limită au două proprietăți definitorii: sunt închise (în sensul că sunt mulțimi care își conțin toate punctele limită) și sunt invariante (Banaji, 2005). În plus, se deduce și că ele sunt alcătuite din traiectorii, pentru că dacă un punct este membru al unei mulțimi limită, atunci întreaga sa traiectorie va face parte din acea

mulțime (Banaji, 2005). Traiectoriile dintr-o mulțime limită pot fi mai simple sau foarte complicate. Banaji (2005) arată că ele pot să se repete în mod nedefinit, ca în cazul unei stări constante (punct fix) sau al unei evoluții ciclice (traiectorii ciclice), dar ele pot și să continue să se reîntoarcă mereu arbitrar de aproape de ele, fără ca vreodată să se repete (cum e în cazul în care traiectoria e toroidală sau haotică).

Tipuri de mulțimi limită: atractorii, repulsorii și punctele șa

Conceptul de *atractor* este un concept central al TSDN, fiind responsabil, în bună parte, de aplicarea TSDN și în alte domenii decât în cel al matematicii.

Într-un limbaj obișnuit, mai puțin riguros, se poate spune că toate sistemele (dacă nu sunt complet aleatorii) încorporează constrângeri, ceea ce înseamnă că anumite paternuri potențiale de activitate apar cu o probabilitate mai mare decât altele (sau corelativ, anumite comportamente posibile nu apar). Aceste paternuri se numesc atractori, definind stările în care un sistem e mai probabil să ajungă. Repulsorii ar fi, însă, acele stări pe care sistemul tinde să le evite, fiind cele mai puțin probabile. În acest caz, schimbarea în sistem poate fi interpretată ca mișcare înspre și între atractori sau dinspre repulsori.

Tot într-un limbaj mai intuitiv, Combs (1995) consideră că atractorul tinde să atragă diverșii săi constituenți într-o configurație coerentă, coagulând elementele din care e format într-un patern de activitate unificat. Se ajunge într-o astfel de configurație pentru că sistemul e atras spre ea prin propria sa natură, datorită dinamicii sale intrinseci, manifestându-și autonomia printr-un astfel de comportament. În termeni similari e definită și starea atractoare de către Meiss (2003), care o vede ca pe o poziție preferată a sistemului, astfel încât, dacă sistemul pornește de la o stare, el va evolua până când ajunge la acea poziție preferată și *va rămâne acolo în absența factorilor perturbatori.*

O parte din definițiile atractorului pleacă de la noțiunile de mulțime invariantă și mulțime limită. O astfel de definiție e cea dată de Shalizi (2006), conform căreia, dacă toate punctele suficient de apropriate de o mulțime invariantă sunt atrase de această mulțime (adică traiectoria sa, după un interval suficient de lung, va ajunge întotdeauna aproape de mulțimea invariantă), mulțimea invariantă se va numi atractor. Ca urmare, atractorii ar avea proprietatea că determină, pe termen lung, comportamentul sistemului. Rockwell (1998) definește atractorul ca o submulțime din spațiul stare care conține întreaga traiectorie care pornește din punctele sale,

ceea ce e echivalent cu a spune că e o mulțime invariantă. Acest lucru îl determină să afirme că atractorul poate fi considerat ca un sistem separat. La fel, Ward și West (1994) văd atractorul ca pe o mulțime limită, ca o regiune din spațiul stare către care toate traiectoriile învecinate tind să conveargă, care colectează aceste traiectorii.

Alte definiții se concentrează pe o perspectivă diferită, definind atractorul ca reprezentând o mutare a sistemului dintr-o regiune întinsă a spațiului stare la una mică și persistentă, sub controlul sistemului însuși, adică o compresie a spațiului stare (Meiss, 2003). O astfel de viziune leagă noțiunea de atractor de aceea de structură disipativă. Astfel, Rosenstein et al. (1993) arată că, pentru ca un atractor să existe, trebuie ca dinamica globală a sistemului să fie disipativă. Cu alte cuvinte, ea trebuie să fie stabilă la nivel global, iar rata totală de contracție e necesar să contrabalanseze rata totală de expansiune a spațiului stare. Nowak și Lewenstein (1994) consideră contracția sistemului în regiunea atractoare ca fiind interpretabilă ca o pierdere de informație, pentru că submulțimea din spațiul fază care poate fi vizitată în timpul evoluției se micșorează în timp. Prin urmare, e nevoie de mai puțină informație pentru a specifica starea sistemului, iar în cazul unui sistem care se află într-un atractor de tip punct fix, adică într-o stare constantă, nu mai e nevoie de nici o informație suplimentară pentru a se specifica starea sa. În plus, întoarcerea sistemului în regiunea atractoare după o perturbație poate fi asemănată cu feedback-ul negativ.

O măsură a intensității atracției sau a puterii atractorului este aceea dată de *timpul de relaxare* a sistemului, adică de timpul necesar pentru ca el să se întoarcă la atractor după apariția unei perturbații (Baron, Amazeen și Beek, 1994).

Repulsorul poate fi definit ca o stare sau o mulțime de stări de care sistemul tinde să se îndepărteze, pe care tinde să le evite (Clark, 1997; Clayton, 1997). Un sistem poziționat într-o astfel de stare tinde să o părăsească definitiv la cea mai mică perturbare. Pentru cazul sistemelor dinamice liniare, în Fig. 1 de mai sus, sunt ilustrate exemple de astfel de repulsori: nodul și focarul instabil.

Un *punct șa* este o regiune din spațiul stare care e atractoare pentru o parte din traiectorii și repulsoare pentru o altă parte din traiectoriile din spațiul stare (Clayton, 1997). De exemplu, el este atractiv într-o dimensiune și repulsiv în altele, astfel încât pe de o parte traiectoriile converg, pe de alta diverg. Un astfel de nod șa, pentru un sistem dinamic liniar, este ilustrat în Fig. 1 de mai sus.

Există mai multe tipuri de atractori (şi, în mod corelativ, de repulsori).

Când comportamentul sistemului care a ajuns la atractor este independent de timp, se vorbeşte de un atractor de tip *punct fix* (sau punct stabil, nod stabil, focarul stabil, steaua stabilă, punct atractor, după Nowak şi Lewenstein, 1994), pentru că este vorba, de fapt, de rămânerea sistemului într-o aceeaşi stare în absenţa vreunei perturbări. În Fig. 1 de mai sus e ilustrat acest tip de atractori pentru cazul sistemelor dinamice liniare. Exemple banale de astfel de evoluţii temporale ar fi acela al unei căni care e pusă pe masă înclinat, pentru ca în final să ajungă la o stare stabilă pe orizontală, stabilizarea mişcării unei mingi pe fundul unei gropi dacă e aruncată acolo (Combs, 1995) sau oprirea oscilaţiei unui pendul cu frecare. Sistemul se va stabiliza în punctul atractor independent de starea iniţială de la care s-a plecat, dacă sistemul are un singur atractor. Se vorbeşte de *nod stabil* în condiţiile în care traiectoriile se apropie de punctul fix în linie dreaptă, direct, şi de *focar stabil* atunci când apropierea de el nu se face direct, ci prin combinaţie cu o mişcare circulară (Nowak şi Lewenstein, 1994). Într-un sistem cu atractor punct fix, o perturbaţie care apare va dispărea complet în timp (Kentridge, 1994). În cazul unui sistem care are un atractor de tip punct fix, după un timp suficient de lung, traiectoriile sale vor converge exponenţial către acesta (Codreanu, 2007).

Prin extensia ideii de atractor de tip punct fix se vorbeşte şi de atractori liniari sau planari. *Atractorul liniar* sau, respectiv, *planar* este o mulţime limită atractoare care are o mulţime infinită de puncte fixe care sunt poziţionate pe o linie (respectiv într-un plan) din spaţiul stare (Eliasmith, 2007). Eliasmith (2007) consideră că atractorii planari ar putea fi interpretaţi la modul general ca *atractori funcţie* (în engleză, "*function attractors*"): atractori ale căror puncte stabile ar fi funcţii ale unei variabile de bază.

Când comportamentul sistemului ajuns în atractor este periodic, oscilând ciclic în timp, adică starea sistemului începe să se repete la un interval de timp constant, avem un atractor de tip *ciclu limită*. El se reprezintă în spaţiul fază ca o traiectorie închisă, ca o buclă, dacă sistemul este continuu. Un exemplu foarte simplu ar fi acela al mişcărilor fără frecare ale unui pendul. Când spaţiul fază are un număr finit de stări, indiferent de legea dinamică, pentru orice stare iniţială, traiectoria sistemului va trebui ca în cele din urmă să se autointersecteze, ceea ce înseamnă că se va ajunge inevitabil la cicluri limită. Beek et al. (1996, în Combs, 1995), oferă o interpretare energetică a atractorului de tip ciclu limită, ca fiind o traiectorie în spaţiul stare a unui sistem în care pierderea şi acumularea de

energie se află în echilibru. Dacă energia acumulată ar fi mai mare, atunci oscilația s-ar extinde la infinit, dacă ea ar fi mai mică, ar dispărea treptat. În Fig. 5 e ilustrat un exemplu de atractor ciclic, împreună cu traiectoriile care sunt atrase de el. Alte exemple de atractori ciclici pot fi vizualizate în Fig. 3 (pentru o reprezentare a evoluției ciclice a unui sistem discret), Fig. 10 (a) și Fig. 30. Când traiectoria unui sistem dinamic e ciclică, dar e stabil neutră, adică nici nu atrage, nici nu respinge traiectorii, ea se numește *centru* (Sprott, 2000) și poate fi observată în Fig. 1. În sistemele dinamice conservative, mișcările oscilatorii sunt descrise prin orbite închise, dar acestea nu reprezintă atractori ciclici (Codreanu, 2007).

În cazul atractorului ciclu limită, traiectoriile care sunt inițial separate păstrează constantă această separare, în timp ce parcurg la infinit curba închisă a atractorului, deducându-se de aici că erorile mici inițiale se conservă la aceleași valori (Codreanu, 2007). Acest lucru înseamnă și că o perturbație a unui sistem cu atractor ciclic se va păstra la nivel constant în timp (Kentridge, 1994).

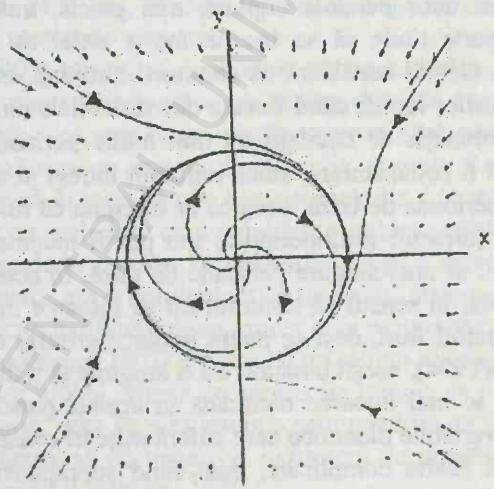


Fig. 5 Atractor de tip ciclu limită (după Romero și Vázquez, 1998)

Când acest comportament este cvasiperiodic sau multiperiodic (pentru că există mai multe oscilații independente în traiectoria sistemului, dar aceasta nu va repeta exact același drum niciodată, cu toate că

rămâne într-o arie restrânsă a spațiului stare) se discută despre un atractor de tip *torus* sau *toroidal (tor)*, a cărui formă în spațiul stare e una similară unui colac de salvare sau cu cea a unui covrig. Se poate vizualiza forma unui astfel de atractor în Fig 6 și Fig. 10 (b).

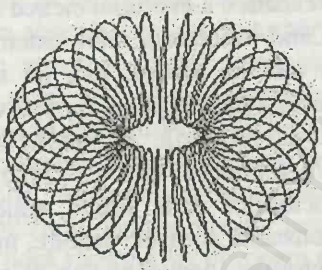


Fig. 6 Forma atractorului toroidal (după Nowak și Lewenstein, 1994)

Un exemplu de sistem real, dat de Vallacher și Nowack (1994), în care apare un astfel de comportament, caracteristic atractorului toroidal, este acela al unor pendule cuplate, mai precis, traiectoria urmată de fiecare în parte tinde să se înscrie într-o astfel de formă. Nowak și Lewenstein, (1994) consideră că atractorii toroidali reprezintă o generalizare a ciclurilor limită, când fiecare din variabilele dinamice se comportă ca o combinație de oscilații cu mai multe perioade diferite. Aceste perioade pot fi comensurate, adică multiplii întregi ai unei singure cantități, care e perioada de bază, ceea ce ar însemna că mișcarea e periodică în principiu (atractor multiperiodic) sau pot fi incomensurate, adică nu sunt multiplii ai unei singure perioade de bază. În acest caz, mișcarea e cvasiperiodică, în sensul că sistemul nu se întoarce niciodată în același punct din spațiul fază, deși se poate întoarce arbitrar de aproape. După Baron et al. (1994), acești atractori au o lungime și o durată fixă, doar că sistemul nu se mai întoarce niciodată în același punct. Dependența de timp a unei variabile dinamice care suferă mișcări cvasiperiodice poate fi neregulată și foarte complicată, dată fiind suprapunerea (combinarea) unui număr finit de unde cu frecvențe diferite.

Atractorul straniu și atractorul haotic sunt tipuri de atractori în care traiectoriile sistemului sunt stabile, se află într-o regiune limitată a spațiului stare (care, în cazul atractorilor stranii, poate să aibă o structură geometrică foarte complicată, de tip fractal, așa cum se va vedea mai jos), dar ele nu se vor repeta deloc, adică nu se vor autointersecta niciodată.

Astfel de atractori au, în descrierea lui Combs (1995), o structură complexă, formată din "aripi" şi "compartimente" care pot fi considerate a fi nişte atractori mai mici care sunt conţinuţi în atractorul mai mare. De aceea, de fapt, un atractor straniu sau haotic reprezintă o colecţie, care poate fi şi infinită, de atractori ai sistemului dinamic, care ocupă o regiune limitată din spaţiul stare. Uneori atractorii haotici au aşa numiţii lobi, care sunt nişte structuri aproape ciclice (Kentridge, 1994). Când comportamentul e haotic, atractorul se numeşte *atractor haotic* (Haken, 1995b). Acesta are două proprietăţi care îl definesc: sensibilitatea la condiţiile iniţiale şi mixarea (Nowak şi Lewenstein, 1994). *Mixarea* se referă la situaţia în care două puncte, care, iniţial, erau foarte apropiate, pot fi regăsite, după câtva timp, ca fiind foarte îndepărtate, iar altele, care erau foarte îndepărtate, pot fi regăsite ca foarte apropiate. *Sensibilitatea la condiţiile iniţiale* înseamnă că o perturbaţie care apare va creşte exponenţial în timp. De cele mai multe ori, atractorii haotici sunt şi stranii şi invers. De aceea, cele două tipuri sunt confundate, termenii de straniu şi haotic fiind consideraţi de mulţi autori ca sinonimi. Exemple de astfel de atractori pot fi vizualizate în Fig. 14 şi Fig. 31. Mai pe larg despre cele două tipuri se va vorbi mai jos, în secţiunile viitoare.

Holbrook (2003) sugerează o analogie pentru a înţelege diferenţele dintre tipurile importante de atractori. Un sistem dinamic care evoluează spre un punct fix este comparat cu un cântăreţ care ar cânta mereu aceeaşi notă. Dacă evoluează spre un atractor de tip ciclic, el poate fi comparat cu un cântăreţ care repetă în mod identic aceeaşi melodie. Un atractor de tip haotic ar fi similar cu melodiile care rezultă din improvizaţiile jazziştilor sau cu piesele muzicale în care se execută variaţiuni pe o aceeaşi temă.

Dacă un atractor are o stabilitate globală (adică sistemul rămâne în bazinul său de atracţie indiferent de mărimea unei perturbaţii) va fi numit *atractor global* (Codreanu, 2007). Pentru ca un sistem disipativ să evolueze către un atractor global, viteza de contracţie trebuie să o depăşească pe cea de expansiune, ceea ce s-ar traduce prin condiţia ca suma tuturor exponenţilor Lyapunov să fie negativă, indiferent de numărul exponenţilor Lyapunov pozitivi (Codreanu, 2007).

Diferitele tipuri de atractori pot fi caracterizate şi prin exponenţii Lyapunov ai sistemului lor dinamic. Astfel, după cum este menţionat de Codreanu (2007), la modul general, pentru un atractor punct fix, toţi exponenţii Lyapunov trebuie să fie negativi, indicând contracţia pe toate direcţiile spaţiului fazelor. Pentru un atractor de tip ciclu limită, un exponent Lyapunov trebuie să fie nul, iar restul să fie toţi negativi, iar pentru un

atractor toroidal trebuie să existe mai mulți exponenți Lyapunov nuli. Atractorii de tip haotic trebuie să aibă cel puțin un exponent Lyapunov pozitiv.

Un atractor este numit a fi *hiperbolic* dacă direcțiile de întindere și de contracție pot fi definite în fiecare punct al său și ele sunt continue de-a lungul atractorului, iar ratele întinderii, respectiv contracției sunt întotdeauna mai mari decât zero (Codreanu, 2007).

Un tip special de atractor, care e considerat în ultimul timp a fi potrivit pentru modelarea dinamică a activității neuronale și cerebrale, e cel definit prin intermediul noțiunii de itinerantă haotică (Tsuda, 2001). El se numește *atractor Milnor*, după cel care l-a descoperit în 1985 (Kaneko și Tsuda, 2003). Un atractor de tip Milnor este, de fapt, un *cvasiatractor*. Adică, e un atractor la limită, el nerespectând definiția strictă a acestuia, ci este o extensie, o generalizare a sa, astfel încât ea să includă și cazul mulțimilor limită care au direcții de evoluție instabile. Conform definiției date de Kaneko (2002), un atractor Milnor este unul pentru care o perturbație oricât de mică a unei orbite care se îndreaptă spre atractor face ca ea să fie îndepărtată de acesta, scoțând-o din bazinul său de atracție, ea îndreptându-se apoi către un atractor diferit. Totuși, un număr finit de condiții inițiale conduc la o evoluție în timp către atractor, orbitele tipice nefiind instabile. Ele reușesc să ajungă la atractor, în ciuda perturbațiilor, astfel că atracția globală se păstrează. Dacă înainte de apariția perturbației orbita ar fi fost încă atrasă către atractor, la apariția unei perturbații infinitezimale ea se va îndepărta de acesta. Cu alte cuvinte, acest lucru înseamnă că în cazul unui atractor Milnor, granița bazinului său de atracție (vezi mai jos semnificația sa) atinge într-o porțiune a sa atractorul însuși. Consecința e aceea a posibilității ca anumite orbite să poată scăpa de sub influența bazinului de atracție dacă apare o perturbație oricât de mică care să le disloce (Kaneko, 2002). Așa cum arată Kaneko (2002), astfel de atractori pot exista și in sisteme dinamice cu dimensionalitate scăzută, în limita numărului magic de 7±2, dar sunt mai frecvent întâlniți în sisteme dinamice cu dimensionalitate ridicată. Un atractor Milnor poate să apară într-un sistem dinamic prin varierea unui parametru de control astfel încât, treptat, să se ajungă la o astfel de modificare a atractorului și a bazinului său încât granița bazinului va atinge atractorul.

Un atractor Milnor care e distrus conduce la ceea ce Tsuda (2001) a numit a fi *ruina unui atractor*, adică un atractor destabilizat, atunci când destabilizarea sistemului nu e prea mare, adică nu conduce la un comportament haotic în care urma vechilor atractori se pierde complet.

Când instabilitatea sistemului nu va fi prea mare, comportamentul său se va afla la limita dintre ordine şi dezordine, fiind, potrivit lui Tsuda (2001), de tipul unui proces itinerant, numit de autorul menţionat *itineranţă haotică*. În cadrul acestuia apare o tranziţie corelată între stări, păstrându-se urma vechilor atractori, dar în vecinătatea acestora vor exista şi direcţii instabile, regiuni prin care orbitele vor putea scăpa din bazinele vechilor atractori, îndreptându-se spre altele noi. Într-un astfel de sistem, nu prea instabil, comportamentul global va tinde către ceea ce Tsuda (2001) numeşte *atractor itinerant*, ca o colecţie de ruine de atractori împreună cu orbitele itinerante care îi leagă între ei. Kampis (2003) aseamănă procesul unei itineranţe haotice cu calea urmată de o frunză aruncată într-un pârâu, care în momentul în care apa ajunge în dreptul unor bolovani sau curenţi rapizi, va fi prinsă în vârtejuri şi contracurenţi, de fiecare dată făcând alte întoarceri, după care va scăpa din nou, ajungând în alte vârtejuri. Traiectoria frunzei va fi caracterizată prin alternarea dintre faze de comportament neregulat, de comportament oscilator (când se învârte în curenţii circulari), turbulenţă şi mişcare calmă. Vârtejurile din care frunza poate ieşi sunt ca nişte atractori Milnor destabillizaţi, adică nişte ruine de atractori. În Fig 7 este ilustrat procesul itineranţei haotice.

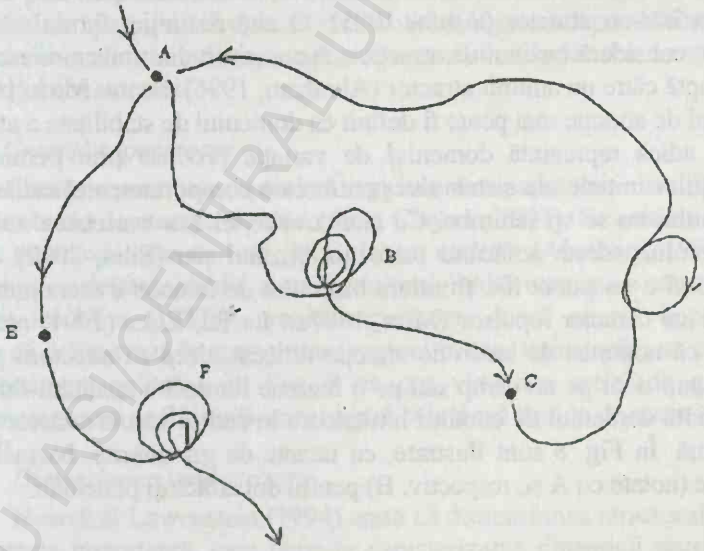


Fig. 7 Procesul itineranţei haotice, traiectoriile trecând prin cvasiatractori cum sunt cei din punctele D, B, F (după Tsuda, 2001)

Aşa cum s-a văzut şi mai sus, e cunoscut faptul că pentru sistemele dinamice liniare disipative singurul tip de atractor posibil este punctul fix. În schimb, în cazul celor neliniare apar toate tipurile de atractori. De asemenea, există sisteme dinamice al căror comportament nu evoluează către un atractor.

Când în spaţiul fază al unui sistem dinamic există mai mulţi atractori, se poate vorbi de o structură de atractori sau *structură atractoare* care corespunde unei anumite legi dinamice.

Într-o structură atractoare apare un aşa numit *efect de "bandă"* (în engleză, "*gang effect*"), când puterea unui atractor este influenţată de atractorii aflaţi în vecinătatea sa, întreaga regiune având o putere atractivă mai mare (Zemel şi Mozer, n. d.). Acest efect conduce la dinamici speciale, care ar putea explica procese cum sunt întărirea sau inhibiţia reciprocă (Zemel şi Mozer, n. d.) pentru stimuli similari, care apar în diverse domenii aplicative.

Bazin de atracţie

Foarte pe scurt, acesta e definit ca o mulţime de stări din spaţiul fază a căror dinamică (adică, traiectoria sistemului care trece prin ele) tinde să ajungă într-un atractor (Arbib, 1995). O altă definiţie, formulată puţin diferit, consideră bazinul de atracţie a fi constituit din traiectoriile care se îndreaptă către un anumit atractor (Abraham, 1996). Pentru Mira (1987a), bazinul de atracţie mai poate fi definit ca domeniul de stabilitate a atractorului, adică reprezintă domeniul de variaţie produsă prin perturbarea condiţiilor iniţiale ale sistemului pentru care comportamentul calitativ al sistemului nu se va schimba. Cu alte cuvinte, el este varietatea stabilă a atractorului, acesta nefăcând parte din bazinul său (Silvi, 2002). Când atractorul e un punct fix, frontiera bazinului de atracţie e înconjurată de puncte cu caracter repulsor (Mira, 1987a). La fel, Eiser (1994) remarcă faptul că noţiunea de bazin de atracţie reflectă ideea că atractorii pot fi dominanţi doar pe un câmp sau pe o regiune limitată a spaţiului fază. El reprezintă domeniul de condiţii limitatoare în cadrul căruia atractorul are influenţă. În Fig. 8 sunt ilustrate, cu nuanţe de gri diferite, bazinele de atracţie (notate cu A şi, respectiv, B) pentru doi atractori punctuali.

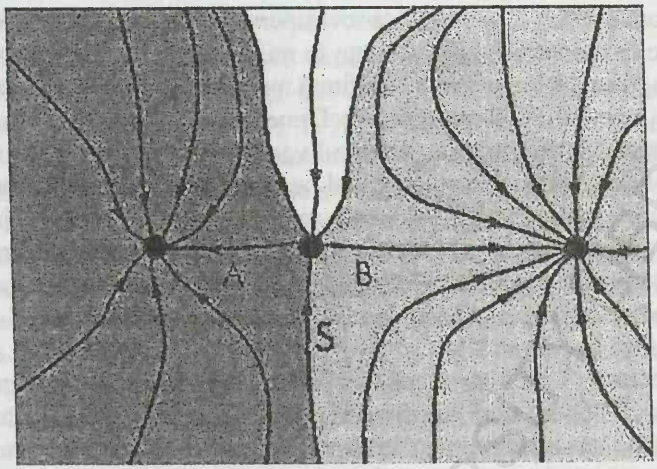


Fig. 8 Bazine de atracție pentru doi atractori punctuali (după Silvi, 2002)

Noțiunea de bazin de atracție e utilă și pentru a calcula ceea ce Meiss (2003) numește a fi un indice care să arate gradul de autoorganizare realizat prin intermediul unui atractor. Interpretând atractorii ca și compresii ale spațiului stare, autorul mai sus citat prezintă posibilitatea de a calcula un astfel de indice ca raport între volumul bazinului de atracție și volumul atractorului.

Graniță separatoare

Granița separatoare reprezintă regiunea din spațiul stare care delimitează un bazin de atracție de altul (după Clayton, 1997). Ea este constituită din traiectorii care nu tind către nici un atractor (Abraham, 1992), ci reprezintă varietatea stabilă a unei mulțimi limită care nu e atractoare. Potrivit lui Mira (1987a), granița separatoare joacă un rol important pentru că delimitează în spațiul stare regiuni în care traiectoriile au același comportament calitativ. În Fig. 8 se pot vizualiza astfel de granițe separatoare, cum ar fi linia S, care separă cele două bazine de atracție.

Dimensiunea unui atractor

Nowak și Lewenstein (1994) arată că dimensiunea atractorului e o proprietate importantă, care permite caracterizarea dinamicii sistemului fără specificarea ecuațiilor care definesc evoluția sa în timp. Pentru un atractor de tip punct fix, dimensiunea este 0, pentru mișcarea periodică,

dimensiunea este 1, pentru cea cvasiperiodică ea e dată de numărul frecvențelor incomensurate prezente în mișcare, pentru atractorii stranii e vorba de o dimensiune fractală (definită mai jos), fracționară, iar mișcarea aleatorie este infinit dimensională. Dimensiunea atractorului ne dă, în cazul sistemelor deterministe, numărul variabilelor necesare pentru descrierea evoluției lor în timp. În cazul atractorilor stranii cu dimensiune fracționară, numărul variabilelor necesare va fi egal cu numărul întreg la care se poate rotunji în plus dimensiunea fracționară a atractorului. Potrivit teoremei lui Liouville, citată de Doerner (2005), dimensiunea unui atractor trebuie să fie în mod obligatoriu mai mică decât aceea a spațiului fază în care se află.

Goertzel (1998) apreciază că ceea ce e mai important din punct de vedere pragmatic nu e să se afle câte variabile are un sistem dinamic, ci dimensionalitatea atractorului, câte dimensiuni sunt minim necesare pentru a descrie comportamentul sistemului pe termen lung. El citează teorema de încorporare (în engleză" "embedding") a lui Whitney, elaborată de acesta în 1936, potrivit căreia o varietate care are dimensiunea **D** poate fi încorporată într-un spațiu care are **2D+1** dimensiuni. De aceea, așa cum se va vedea mai jos, pe baza unei astfel de teoreme se va putea determina sistemul dinamic real, dacă se cunoaște dimensionalitatea atractorului.

Rocha (1998) arată că, la nivelul observației, comportamentul sistemului ajuns într-o regiune atractoare apare ca un comportament emergent, pentru că din condițiile inițiale aleatorii se ajunge la formarea aparent spontană de structuri, de modele, cu un nivel ridicat de organizare, care au o dimensionalitatea mai redusă.

Topologie

Topologia a mai fost numită de Robert și Roman (1998) și geometria cauciucului, față de geometria clasică, a solidelor rigide. Aceasta pentru că topologia e un domeniu al matematicii care studiază acele proprietăți geometrice, numite proprietăți topologice, care se pot considera a fi calitative, păstrându-se după aplicarea transformărilor care mențin relațiile de vecinătate (cum ar fi transformările de îndoire și întindere, excluzându-se însă ruperea), dar nu și distanțele. De exemplu, din punct de vedere topologic, un cerc și o elipsă sunt echivalente, dar ele nu sunt echivalente cu un segment de linie (după Port și van Gelder, 1995). Proprietățile topologice ale traiectoriilor sistemelor dinamice pot fi folosite ca și criterii pentru clasificarea lor (cum e cazul clasificării atractorilor) și permit caracterizarea calitativă a comportamentului unui sistem dinamic.

Portret de fază, diagramă de fază, flux

Portretul de fază al unui sistem dinamic (flux pentru sistemele dinamice continue) este format din colecția traiectoriilor (orbitelor) sale (Abraham, 1996; van Gelder, 1998). Potrivit lui van Gelder (1998), scopul fundamental al teoriei sistemelor dinamice este să înțeleagă și să determine proprietățile structurale ale fluxului.

Kühn (2005) face următoarea distincție, numind *fluxul fazei* colecția tuturor curbelor de fază (adică a orbitelor, ca reprezentări într-un spațiu care nu are ca și coordonată timpul) și *portretul fază*, numit de el și *diagramă de fază*, ca *reprezentare grafică* a curbelor de fază pentru puncte reprezentative ale spațiului fază. În Fig. 9 este prezentat un astfel de portret de fază, care conține doar câteva traiectorii.

Sintagma de diagramă de fază este ambiguă, fiind uneori confundată cu diagrama de bifurcație. În general, ea e folosită ca fiind sinonimă cu spațiul fază. Totuși, se preferă utilizarea sa atunci când e vorba de a reprezenta grafic comportamentul unui sistem dinamic cu ajutorul datelor obținute prin măsurarea concretă a variabilelor dinamice ale acestuia. În cazul analizei seriilor temporale de date, diagrama de fază (sau de *recurență* cum mai e numită) se referă la reprezentarea grafică într-un sistem de coordonate a valorii curente a seriei temporale (pe una din coordonate) față de valorile precedente din serie (pe restul coordonatelor). Astfel de *diagrame de recurență* sunt prezentate în Fig. 10, pentru cazul în care o coordonată e dată de valoarea unei variabile dinamice, iar cealaltă de valoarea aceleiași variabile la momentul de timp precedent.

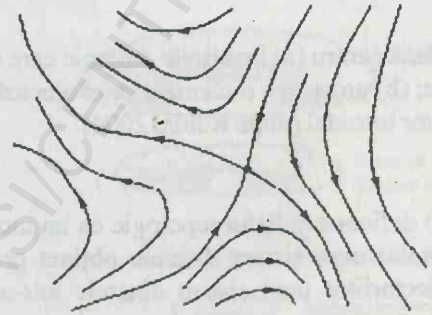


Fig. 9 Portret de fază al traiectoriilor din apropierea unui punct șa (după Silvi, 2002)

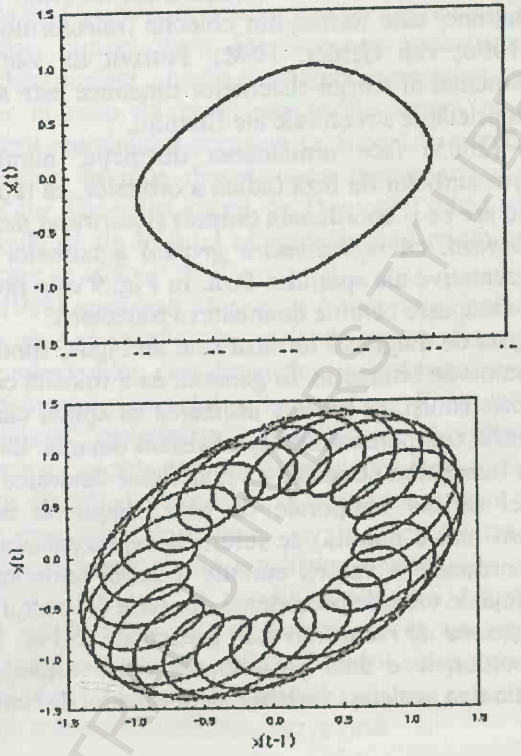


Fig. 10 Diagrama de fază pentru (a) un sistem dinamic care evoluează spre un atractor ciclic; (b) un sistem dinamic care evoluează spre un atractor toroidal (după Rubin, 2004)

Relief topologic

Van Geert (1994) defineşte relieful topologic ca un mod de reprezentare a comportamentului unui sistem dinamic obţinut prin transformarea topologică a traiectoriilor unui sistem dinamic într-un relief cu dealuri şi văi imaginare.

Tipurile de relief la care multe din ecuaţiile dinamice pot fi reduse reprezintă o mulţime limitată de forme topologice cum sunt bazinele (văile), pentru atractori, culmile pentru repulsori, şaua pentru punctele şa.

Traiectoria unui sistem care porneşte dintr-o anumită stare a sistemului poate fi reprezentată ca drumul parcurs de o bilă care e lăsată să se mişte liberă, pornind dintr-un punct al reliefului. Culmile şi văile vor limita căile posibile de deplasare a acestei bile (van Geert, 1994). În Fig. 11 se prezintă relieful topologic pentru cazurile simple ale unui punct repulsor, atractor şi punct şa.

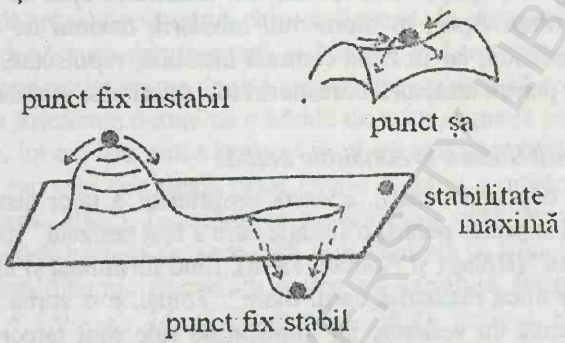


Fig 11 Relieful topologic pentru un punct repulsor, altul atractor şi pentru un punct şa (după Sardanyés, 2004)

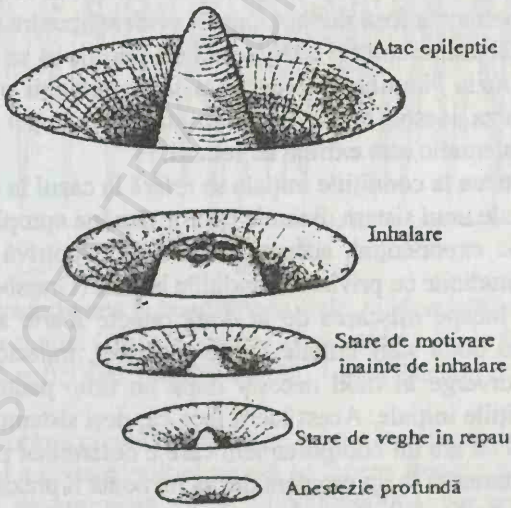


Fig. 12 Relief topologic pentru dinamica modelului activităţii nervoase a bulbului olfactiv la cobai (după Freeman, 1987)

Fig. 12 ilustrează relieful topologic pentru o dinamică mai complexă, aceea a modelului activității nervoase a bulbului olfactiv la cobai (Freeman, 1987), realizat pentru mai multe situații: înainte, în timpul și după inhalarea unei substanțe, ca și pentru o descărcare epileptică în zona respectivă. Se observă cum, în starea de anestezie, bazinul de atracție este foarte îngust și puțin adânc, sistemul netinzând spre un comportament stabil în timp. Apoi, în momentul inhalării, bazinul de atracție e mult extins și adâncit, iar în zona centrală instabilă, repulsoare, apar insule de stabilitate pentru atractorii corespunzători diferitelor mirosuri.

Sensibilitatea la condițiile inițiale

La o primă vedere, această proprietate a unor sisteme dinamice este o altă expresie pentru o situație care a fost sesizată "de când e lumea și pământul" (Robert și Roman, 1998), fiind formulată și într-un proverb: "Buturuga mică răstoarnă carul mare". Totuși, e o vorbă de duh care e adesea trecută cu vederea, iar implicațiile sale sunt rareori recunoscute. Teoria sistemelor dinamice neliniare permite precizarea condițiilor în care poate să apară o astfel de situație.

Boutot (1997) arată că fenomenul sensibilității la condițiile inițiale a sistemelor dinamice a fost, de fapt, pus în evidență pentru prima dată de Hadamard la sfârșitul secolului XIX, ceea ce a permis să se emită încă de pe atunci concluzia "inutilității practice a unor deducții matematice în științe". Din cauza acestui fenomen, posibilitatea predicției pe baza unui determinism matematic este extrem de redusă.

Sensibilitatea la condițiile inițiale se referă la cazul în care traiectoriile învecinate ale unui sistem dinamic nu vor rămâne apropiate, ci se vor distanța reciproc exponențial, accentuând astfel deopotrivă perturbațiile externe și incertitudinile cu privire la condițiile inițiale (Grassberger, 1987).

Dacă se începe mișcarea de la două puncte foarte apropiate din spațiul fază (sau două stări inițiale foarte similare), traiectoriile care le corespund vor diverge în mod necesar după un timp pentru un sistem sensibil la condițiile inițiale. Acest lucru face ca, deși sistemul este determinist, în sensul că are un comportament care e determinat prin ecuațiile dinamicii sale, starea sa la un moment dat să nu poată fi prezisă, pentru că în practică nu este posibil să se determine cu o precizie infinită datele inițiale, starea de la care se pornește, existând întotdeauna o eroare de măsurare, o rotunjire, care va fi amplificată prin dinamica sistemului. Ca rezultat al sensibilității la condițiile inițiale, mici erori, datorate aproxi-

mărilor sau erorile de măsurare, sunt amplificate dramatic cu trecerea timpului, astfel încât va exista o diferență foarte mare între traiectoriile calculate și cele reale (Port și van Gelder, 1995). Ca urmare, va apărea așa numitul "*efect al fluturelui*", când cea mai mică perturbație în sistem poate conduce, după un timp relativ scurt, la efecte arbitrar de mari (la fel precum bătaia de aripi a unui fluture poate avea consecințe imprevizibile, uneori extrem de mari, declanșând chiar o furtună, în sistemul dinamic meteorologic), după cum menționează și Nowak și Lewenstein (1994). Totuși, de cele mai multe ori, se tinde a se trece cu vederea că acest "efect al fluturelui" nu înseamnă numai că o bătaie de aripi ar putea provoca un uragan, ci și că, tot ea, l-ar putea preveni și că efectul unei bătăi de aripi nu e mai mare sau mai mic decât orice bătaie de aripi a oricărui fluture (Sardar și Abrams, 2002). Îndepărtarea traiectoriilor care pornesc de la două puncte inițiale extrem de apropiate este ilustrată în Fig. 13, pentru cazul unui sistem dinamic discret cu o singură variabilă, numit ecuația Grebogi: $x_{t+1} = 1.9 - x^2_t$. (după Sardanyés, 2004), unde x_t e valoarea variabilei x la momentul **t**, iar x_{t+1} valoarea lui x la momentul următor.

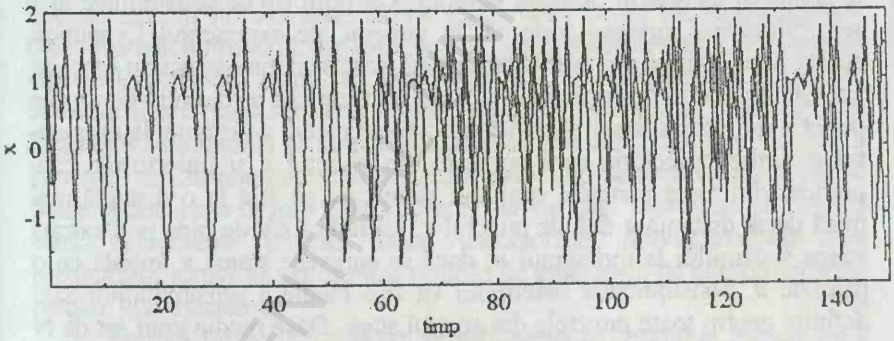


Fig. 13 Sensibilitatea la condițiile inițiale, evidențiată în divergența traiectoriilor ecuației Grebogi, pentru două valori inițiale foarte apropiate ale lui x: 0,5 și 0,5000000000001 (după Sardanyés, 2004)

Pentru prima condiție inițială se începe iterația cu o valoare a lui x de 0,5. Pentru a doua condiție inițială se începe iterația de la o valoare a lui x extrem de apropiată, de 0,5000000000001. Se poate observa în figură cum cele două traiectorii, marcate cu două nuanțe diferite de gri, au un comportament foarte diferit începând da la iterația 50.

Newtson (1994) consideră că sensibilitatea la condițiile inițiale apare dintr-o creștere a sensibilității unui sistem complex la variabilele locale, sistemul "deschizându-se" influenței variabilelor la care nu e în mod normal sensibil. Ca urmare, impredictibilitatea sistemului poate fi interpretată ca fiind rezultatul creșterii bruște în complexitatea determinării comportamentului sistemului. Tocmai de aceea, astfel de sisteme sunt, totuși, capabile să creeze paternuri de comportament noi prin cuplarea foarte strânsă cu mediul, ceea ce face ca sistemele cu comportament haotic, sensibile la condițiile inițiale, să fie adaptative în multe situații. Prigogine și Stangers (1988/1997) precizează și ei că sensibilitatea unui sistem dinamic face ca raporturile dintre sistem și mediu să devină dependente de regimul de activitate a mediului.

Sensibilitatea la condițiile inițiale poate fi exprimată mai tehnic, în termeni matematici, prin exponenții Lyapunov, atunci când acești exponenți calculați vor avea valori pozitive.

Goertzel (1993b) menționează o serie de distincții importante care se referă la contextele diferite în care se poate vorbi de sensibilitate în legătură cu un sistem dinamic neliniar. Un prim tip de sensibilitate ar fi *sensibilitatea Lyapunov* (diferită, în general, de exponentul Lyapunov, acesta fiind doar un caz particular al său), care se definește pentru cascade. Ea este o funcție de o precizie a și de un moment n, definită pentru un punct x din spațiul stare. Această funcție e o medie a distanței la momentul n dintre traiectoria care pornește din punctul x și traiectoriile care pornesc din toate punctele spațiului stare care se află la o distanță mai mică decât distanța a față de punctul x. Ea indică cât de bine poți estima starea sistemului la momentul n, dacă se cunoaște starea x inițială cu o precizie a. Sensibilitatea sistemului va fi o medie a sensibilităților sale definite pentru toate punctele din spațiul stare. Dacă media unui set de N numere se definește ca elementul maxim al mulțimii și e vorba nu de un spațiu discret, ci de spațiul numerelor reale, se ajunge la exponentul Lyapunov. Un alt tip de sensibilitate ar fi *sensibilitatea structurală*. Aceasta măsoară cât de sensibilă e structura unei traiectorii în raport cu punctul inițial din care pornește. Se definește asemănător cu sensibilitatea anterioară, doar că se consideră media distanțelor nu doar pentru momentul n, ci pentru toate momentele precedente. Se poate defini și o sensibilitatea structurală inversă, care să măsoare cât de bine se poate determina starea viitoare imediată din paternurile observate în comportamentul sistemului sau, cu alte cuvinte, cât de sensibil e punctul prin care trece o traiectorie la momentul n față de structura traiectoriei până în acel

moment. Ultimul tip de sensibilitate este *sensibilitatea structurii sensibilității structurale*, adică o sensibilitate structurală de ordin superior, care se referă la toate traiectoriile sistemului. Aceasta măsoară cât de dificilă este obținerea certitudinii cu privire la structura viitoare a sistemului din structura lui trecută, fiind vorba nu de impredictibilitatea unei valori, ci de aceea a unei structuri. Adică nu contează cât de diferite sunt două stări dacă ele conduc la structuri similare.

Aceste tipuri de sensibilități sunt importante pentru că permit distingerea, de exemplu, a situațiilor în care sistemul e sensibil la condițiile inițiale, dar nu este sensibil structural, ceea ce înseamnă că, deși nu se poate prezice starea viitoare a sistemului, este posibil să se prezică structura spațiului stare. La fel, dacă un sistem e sensibil structural, dar nu prea sensibil în ceea ce privește structura sensibilității structurale, atunci, deși cunoașterea stării prezente nu ne spune multe despre structura viitoare, ea totuși poate fi determinată pe baza structurii trecute. Dacă sistemul are sensibilitatea structurală inversă, dar nu sensibilitatea structurii sensibilității structurale, atunci, studiind structura sistemului, s-ar putea prezice în mod rezonabil structura sa ulterioară, dar nu starea viitoare exactă. Prin urmare, există mai multe forme de predictibilitate (sau impredictibilitate) între care se pot stabili diferite relații. Părerea lui Goertzel (1993b) este că sistemele cu o capacitatea mare de autoorganizare (cum sunt cele sociale, neuropsihice etc.) au o sensibilitate Lyapunov, structurală și structurală inversă crescute, dar una scăzută a structurii sensibilității structurale. Adică, studiind structurile din trecut se poate spune ceva despre cele viitoare, dar nu este posibil să se prezică stări, evenimente precise. Dacă traiectoriile individuale nu sunt predictibile, totuși, se pot analiza tipurile de traiectorii, de comportamente pe care le are sistemul.

Potrivit lui Shalizi (2006), sensibilitatea la condițiile inițiale nu e prin ea însăși interesantă, pentru că există și în sisteme dinamice liniare și e cunoscută de foarte multă vreme. Ceea ce ar fi interesant însă este combinația sa cu o limitare, constrângere a împrăștierii exponențiale a traiectoriilor, astfel încât suma exponenților Lyapunov să ajungă negativă sau nulă. Acest lucru face să apară comportamentul haotic, un comportament pentru care există dovezi că ar apărea foarte frecvent în natură. Dacă această sumă e negativă și unii dintre exponenții care sunt termeni ai sumei sunt pozitivi e vorba de un atractor straniu, care dă o separare exponențială a punctelor de pe atractor (Shalizi, 2006).

B.C.U. "M. EMINESCU" IAȘI

Goertzel (1993b) face o precizare utilă, şi anume, el arată că pot exista sisteme dinamice simple care nu prezintă vreo sensibilitate la condiţiile iniţiale şi, totuşi, comportamentul lor e cvasialeatoriu. Acest lucru înseamnă că sensibilitatea la condiţiile iniţiale nu este, după cum s-ar fi putut crede, o condiţie necesară şi suficientă pentru ca un sistem dinamic să aibă un comportament similar celui aleatoriu.

Fenomenul care apare în sistemele dinamice ca şi corelativ sensibilităţii la condiţiile iniţiale este *independenţa de cauzele iniţiale* (van Geert, 1998), care se manifestă în evoluţia către o regiune atractor, sistemul ajungând, în final, în regiunea aceasta, indiferent de condiţii iniţiale de la care a pornit sau de viteza cu care se îndreaptă spre ea.

Ergodicitate

Ergodicitatea e definită ca fiind o proprietate a unui sistem dinamic care face ca, dacă avem un număr mare de sisteme dinamice identice, care au o aceeaşi dinamică, dar care pornesc din condiţii iniţiale diferite, după un timp suficient de lung, distribuţia stărilor acestora în spaţiul stare va fi aceeaşi ca şi cea a stărilor unui singur astfel de sistem după o succesiune de iteraţii pentru aproape orice condiţie iniţială a sistemului, fiind plasate pe acelaşi atractor (Doerner, 2005). Flake (1998, în Holbrook, 2003) defineşte această proprietate într-o manieră mai sintetică, ca o reîntoarcere, în cele din urmă, a unui sistem dinamic care are această proprietate într-o aceeaşi regiune a spaţiului stare.

Haos determinist

Goldberger (1996) arată că înainte de secolul XX se credea că dacă pentru un sistem se pot formula ecuaţii explicite, cum e şi cazul sistemului solar, comportamentul său ar trebui să fie, în principiu, predictibil pentru toate momentele viitoare. Dar conform cercetărilor realizate de matematicianul Poincaré la începutul acelui secol, s-a descoperit că poate să apară un tip complex de variabilitate chiar şi în comportamentul celui mai simplu sistem neliniar. Mult mai târziu, termenul de haos a fost introdus de doi matematicieni, James Yorke şi Tyen-Yien Li, de-abia în anii şaptezeci ai secolului trecut, într-un articol în care arătau că un comportament periodic cu perioadă trei implică apariţia haosului (Robert şi Roman, 1998). Cu alte cuvinte, este imposibil să se creeze un sistem care să se autorepete numai într-o oscilaţie cu perioadă triplă, pentru că acesta va prezenta cu necesitate şi cicluri regulate de orice altă lungime,

ca şi cicluri haotice (Sardar şi Abrams, 2002). Aşa cum arată Goldberger (1996), ecuaţiile de mişcare care generează astfel de comportamente neregulate şi aparent nepredictibile, comparabile cu haosul, nu conţin nici un termen aleatoriu. De aceea, tipul acesta de comportamente a fost numit ulterior *haos determinst.* Specificarea era necesară pentru a distinge acest tip de haos, de cel obişnuit, care se referă la un comportament pur aleatoriu, care nu are nici o constrângere. Haosul determinist a mai fost numit şi stocasticitate dinamică, zgomot autogenerat, stocasticitate intrinsecă sau stocasticitate hamiltoniană (Hao Bai-Lin, 1990, citat de Codreanu, 2007). În cele ce urmează, pentru simplitate, ne vom referi la haosul determinist cu termenul simplu de haos. Răspândindu-se şi în alte domenii unde TSDN şi-a găsit aplicaţii, termenul de haos şi-a dezvoltat înţelesul iniţial. De aceea, după cum se va vedea, există numeroase definiţii, multe din ele diferind prin accentul pus pe o anumită proprietate sau pe alta a sistemelor care au ceea ce se numeşte a fi comportament haotic.

Definiţia cea mai scurtă pe care am întâlnit-o este cea dată de Sardar şi Abrams (2002), care consideră haosul ca "un fel de ordine fără periodicitate", pentru care autorii citaţi au şi o variantă mai lungă, referindu-se la teoria haosului ca la "studiul calitativ al comportamentului instabil aperiodic în sisteme dinamice neliniare deterministe". Într-o altă variantă, citând un matematician, ei precizează şi că haosul e o proprietate a sistemelor simple, care nu au componente aleatorii interne, de a genera un comportament extrem de neregulat. Aceeaşi idee se regăseşte şi la Lucas (1997), într-o formulare puţin diferită, şi anume că haosul înseamnă posibilitatea de a se obţine rezultate complet aleatorii din ecuaţii normale sau de a găsi ordine în date complet aleatorii. Calitatea cea mai surprinzătoare a haosului pentru o persoană neiniţiată este aceea că un sistem simplu (chiar şi cu o singură variabilă) poate să genereze un comportament extrem de complicat (Meiss, 2003). La fel consideră şi Sardar şi Abrams (2002), apreciind că haosul relevă existenţa unei relaţii aparent paradoxale între simplitate şi complexitate (ecuaţiile sistemului sunt simple, dar soluţiile acestor ecuaţii sunt complexe şi imprevizibile), între organizare şi întâmplare, ceea ce se constituie într-o premisă pentru posibilitatea de a simplifica fenomenele complicate şi pentru a afirma că, indiferent de nivelul de complexitate a unui sistem (apreciată după numărul componentelor sale), pot exista limite inerente în capacitatea de a-i cunoaşte comportamentul viitor.

Prigogine şi Stangers (1988/1997) caracterizează la modul global comportamentul unui sistem disipativ în regim haotic ca unul în care

descrierea macroscopică a sistemului nu mai poate face referire la vreo proprietate a stabilității, pentru că, în acest regim, toate stările posibile "se actualizează, coexistă și interferează", sistemul fiind "în același timp" tot ce poate fi.

O descriere intuitivă inedită a sistemelor haotice e dată de Shore (1995), care consideră că ele prezintă un comportament cu teme și variații, nereușind nicicând să evadeze dintr-un model de comportament (n. a., dat de regiunea limitată în spațiul stare a unui atractor haotic), dar, totuși, simultan, nerepetându-se niciodată (n. a., traiectoriile în regiunea atractoare nu se autointersectează). O astfel de descriere poate fi o bună introducere pentru definițiile mai tehnice ale comportamentului haotic.

Una din cele mai apreciate definiții ale unui sistem haotic, deși nu e unanim recunoscută, este aceea dată de Devaney (1989, în Robert și Roman, 1998). Conform acesteia, pentru ca un sistem dinamic să fie haotic, el trebuie să satisfacă două condiții de bază: 1) mulțimea punctelor sale periodice trebuie să fie densă în mulțimea stărilor sistemului, ceea ce înseamnă că pentru orice punct din spațiul stare e necesar să existe un șir de puncte din mulțimea punctelor periodice care să conveargă către acel punct; 2) sistemul trebuie să fie tranzitiv, adică pentru oricare două puncte trebuie să se găsească o traiectorie care să fie oricât de apropiată dorim de ambele puncte. El a mai formulat și o a treia condiție, care se regăsește în aproape toate definițiile date haosului, și anume aceea a dependenței sensibile de condițiile inițiale, dar s-a demonstrat că ea poate fi considerată o consecință a primelor două (Robert și Roman, 1998). În mod intuitiv, același autor citat a mai caracterizat haosul ca având trei proprietăți de bază: *imprevizibilul, indecompozabilitatea și un element de ordine*. Imprevizibilul s-ar datora sensibilității la condițiile inițiale, indecompozabilitatea tranzitivității, iar ordinea se datorează faptului că mulțimea punctelor periodice este densă. Indecompozabilitatea e importantă pentru că ajută la a distinge imprevizibilitatea datorată haosului de acel tip de imprevizibilitate care nu rezultă din combinarea mai multor sisteme cu evoluții previzibile (Robert și Roman, 1998).

Folosind alți termeni, Clayton (1997) menționează și el existența a trei caracteristici ale unui sistem haotic: faptul că are un comportament aparent *aleatoriu*, faptul că e *determinist* (condiții care au fost amintite și mai sus) și *sensibilitatea la condițiile inițiale* (adică evoluția sistemului în timp depinde extrem de mult de mărimea diferenței dintre stările inițiale). Nici una din aceste condiții nu e însă suficientă pentru a caracteriza în

mod separat un sistem dinamic haotic, după aprecierea autorului mai sus citat. Referitor la sensibilitatea la condițiile inițiale, Robert și Roman (1998) fac o observație importantă. Ea nu ar însemna și sensibilitatea la perturbări, ci tocmai dimpotrivă, constituie calea cea mai bună de împrăștiere a perturbațiilor, astfel încât sistemul va fi mai adaptabil la modificările din mediul extern, contribuind la stabilitatea întregului.

În termeni oarecum similari cu cei folosiți de Clayton (1997), Flake (1998, în Holbrook, 2003) consideră ca fiind necesare, dar nu suficiente, următoarele condiții pentru ca un sistem să fie haotic: comportamentul să fie determinat de o regulă (adică să fie determinist), dar să fie impredictibil pe termen lung, să fie sensibil la condițiile inițiale, și, în plus, să aibă proprietatea ergodicității și a prezenței autosimilarității (n. a., adică să aibă traiectorii cu caracter de fractal, care, după cum se va vedea, este o cerință specifică atractorilor stranii).

Codreanu (2007) identifică, de asemenea, mai multe caracteristici esențiale ale sistemelor haotice, care se suprapun parțial cu cele evidențiate mai sus: 1) dependența sensibilă de condițiile inițiale; 2) separarea exponențială a traiectoriilor, din care derivă imposibilitatea practică a predicției pe termen lung a comportamentului acestor sisteme (dat fiind că stabilirea condițiilor inițiale se poate face doar cu o precizie finită, dar erorile vor fi amplificate exponențial); 3) limitarea orbitelor din spațiul fază. Ultima este considerată de autoare ca fiind definitorie, pentru că ea exclude posibilitatea ca traiectoriile care diverg exponențial să tindă la infinit. Pentru îndeplinirea a condițiilor de mai sus și explicarea haosului determinist ar fi necesară implicarea simultană a două tipuri de procese: de întindere sau alungire (responsabil pentru separarea exponențială a traiectoriilor învecinate) și unul de pliere (care limitează evoluția traiectoriilor în spațiul stare la o regiune finită), cel din urmă fiind caracteristic doar sistemelor neliniare (Codreanu, 2007). Implicarea celor două tipuri de procese va afecta comportamentul corelațiilor în sistem, mai precis cât de repede aceste corelații scad în timp. Și pentru Schroeck (1994), cea mai bună definiție a haosului este considerată a fi tocmai cea relativă la modul în care aceste corelații variază în timp. Potrivit acestuia, într-un sistem haotic, distanța dintre două stări care erau inițial apropiate tinde să crească cel puțin exponențial în timp și, simultan, două stări care inițial erau la o distanță foarte mare pot să se apropie, să conveargă exponențial sau chiar mai rapid. În sistemele liniare poate să apară doar unul dintre cele două fenomene, pe când în sistemele haotice apar ambele, spunându-se că în astfel de sisteme apare *mixarea*. Practic, e vorba de o

amestecare a influențelor stabilizatoare și a celor destabilizatoare. Exemplul dat de Schroeck (1994) pentru a ilustra fenomenul mixării este acela al unui brutar care frământă o cocă în care a pus stafide. Dacă se iau două stafide care sunt apropiate inițial, prin rulare, tăierea în jumătate și suprapunerea jumătăților de cocă obținute, acestea se pot distanța foarte mult, pentru ca apoi să se apropie brusc din nou. Totuși, va exista o structură generală stabilă a traiectoriilor urmate de stafide.

Descreșterea funcției de autocorelare în timp este doar unul din semnele pe baza căruia se poate identifica un comportament haotic. Un alt indiciu cu valoare pragmatică, legat de acesta, ar fi un spectru de putere (pentru seria temporală care descrie evoluția sistemului) cu o bandă largă de zgomot (Codreanu, 2007). Din punct de vedere teoretic, comportamentul haotic se reflectă și în rezultatul intersecției traiectoriei de fază cu un plan, punctele acesteia ajungând să îl umple, precum și în prezența a cel puțin unui exponent Lyapunov pozitiv (Codreanu, 2007). Pentru a identifica haosul determinist prin distingerea de alte fenomene cu care ar putea fi confundat, Codreanu (2007) subliniază că trebuie să se poată exclude posibilitatea ca acesta să fie explicat integral de existența vreunei surse externe de zgomot, a unui număr infinit de grade de libertate sau de implicarea incertitudinii cuantice (ținând cont de faptul că sistemele considerate sunt macroscopice).

În ceea ce privește distincția dintre un sistem haotic și unul stocastic, un criteriu important este acela că traiectoria primului în spațiul stare trebuie să fie limitată de o structură geometrică care are o dimensiune mai scăzută decât spațiul stare însuși (Wright și Liley, 1996, cf. Cosmelli, Lachaux și Thompson, 2007).

O definiție sistematică a ceea ce înseamnă *comportament haotic*, când acesta este și straniu, o dă Mira (1987b). El consideră că atributul de haotic se referă la mai multe tipuri de situații. Prima e aceea în care în spațiul stare al sistemului există cel puțin o stare staționară stabilă neconstantă și neperiodică. A doua e aceea în care sistemul prezintă un regim periodic stabil, dar a cărui perioadă e superioară duratei de observație. Pentru aceste prime două cazuri este vorba de atractori stranii. A treia situație este aceea a existenței unei frontiere fluide, separând bazinele de influență, de atracție, a două stări staționare stabile, care pot fi sau nu atractori stranii. O astfel de frontieră fluidă e o zonă de incertitudine pentru evoluția unei traiectorii către unul sau celălalt dintre atractori, ca putând fi la originea existenței unei infinități de regimuri periodice instabile în această zonă, care se comportă ca un repulsor straniu.

Într-o manieră similară descriu şi Voinea şi Stroe (2000) comportamentul unui sistem dinamic haotic, după modul în care el se reflectă în variaţiile valorilor în timp ale uneia din variabilele sale. El apare ca o variaţie lipsită de periodicitate, dar în care există totuşi o "natură recurentă", care e evidenţiată de anumite "aluri", repetându-se la intervale neregulate, ceea ce face să pară că variaţia e întâmplătoare. După cum arată însă cei doi autori citaţi, în practică, doar prin inspecţia modului de variaţie a unei variabile, e foarte greu de distins o variaţie haotică de una care se obţine prin suprapunerea unui număr foarte mare, dar finit, de mişcări periodice armonice, sau de aceea în care se suprapun mişcări periodice ale căror frecvenţe se află într-un raport care nu conduce la un număr din mulţimea numerelor întregi.

Heath (2000) defineşte şi *starea haotică* ca o stare care se caracterizează printr-o impredictibilitate ridicată a stărilor care îi urmează, chiar dacă acea stare e a unui sistem care e global stabil.

Atractorii sunt numiţi *haotici* când aceştia reprezintă traiectorii complexe în spaţiul stare, astfel încât deşi sistemul este determinist, o traiectorie a sa care se apropie de astfel de atractori poate fi considerată ca aleatorie, diferenţe iniţial mici între două stări iniţiale putând conduce la diferenţe extreme în evoluţia sistemului (Arbib, 1995). Bertenthal (2007) caracterizează atractorul haotic ca fiind local stocastic, dar global stabil. Potrivit lui Abraham (1996), atractorii haotici pot fi situaţi între două extreme: să fie aproape periodici sau să fie aproape total aleatorii. Autorul citat explică paternul lor complex ca fiind rezultatul rezolvării unor tendinţe sau forţe multiple şi diverse. Ele pe de o parte atrag traiectoriile către o suprafaţă complexă, care se pliază într-o regiune a spaţiului stare, apărând fenomenul convergenţei. Pe de altă parte, tot ele resping traiectoriile care se apropie, care astfel ajung divergente în raport cu suprafaţa atractivă, apărând fenomenul divergenţei, care e puternic legat de sensibilitatea sistemului faţă de condiţiile iniţiale.

Exemple ale unora dintre cei mai celebri atractori haotici pot fi vizualizate în Fig. 31, pentru atractorul Lorenz în spaţiu tridimensional, şi în Fig. 14, pentru atractorul Rössler (pentru sistemul dinamic $dx/dt = -(y+z)$; $dy/dt = x + Ay$; $dz/dt = B + xz - Cz$, când valorile parametrilor de control sunt: $A = 0,2$; $B = 0,2$; $C = 5,7$) şi atractorul Hénon (pentru sistemul dinamic $x_{n+1} = (y_n + 1) - (1,4x_n^2)$; $y_{n+1} = 0,3x_n$, cu valorile iniţiale (1,1)) şi o proiecţie plană a atractorului Lorenz, prezentat pe larg mai jos, care permite o evidenţiere mai bună a structurii fractale a acestuia în Fig. 27c.

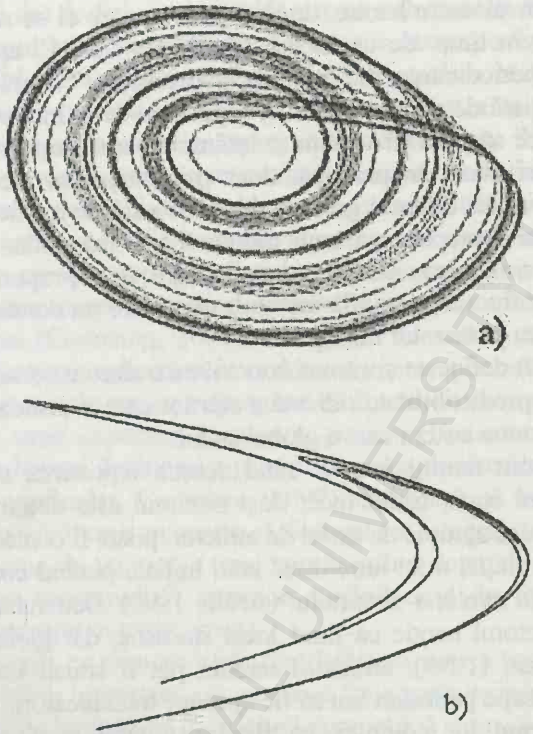


Fig. 14 Proiecțiile plane ale unor atractori haotici: a) atractorul Rössler; b) atractorul Hénon (după Bradley, 2006)

Freeman (1987) semnalează o proprietate importantă a atractorilor haotici, care permite distingerea lor față de zgomotul aleatoriu, cum este cel termodinamic, și care poate fi extrem de utilă pentru a modela fenomenele cerebrale. Proprietatea în cauză este aceea că un atractor haotic poate fi conectat sau deconectat virtual instantaneu, deoarece are relativ puține grade de libertate (are dimensionalitate scăzută). Adică atractorii haotici pot fi făcuți să apară sau să dispară ca și prin intermediul unui comutator prin controlul unui parametru de control (cu alte cuvinte, prin fenomenul bifurcării). Acest lucru este imposibil de realizat pentru zgomotul termodinamic, care pentru a fi controlat cere procese de răcire sau încălzire relativ lente. De aceea, se poate spune că haosul e un zgomot controlat, cu proprietăți precis definite. Skarda și Freeman (1987) arată că un sistem haotic concret poate fi generat prin construirea unui sistem cu

anumite specificații și introducerea de energie în el. Un astfel de sistem generează ceea ce se numește un zgomot pseudoaleatoriu, care poate fi reprodus cu o mare precizie dacă condițiile inițiale sunt identice la repetarea simulării, dar care e impredictibil dacă se pornește de la alte condiții inițiale. Păreri similare are și Garfinkel (1987).

La fel ca Abraham (1996), citat mai sus, Gheorghiu (2004) plasează dinamica haotică, numită și tranzițională, între dinamica regulată, care e descrisă de funcții obișnuite și dinamica stocastică, descrisă de funcții aleatorii (probabilistice). Conform acestui autor, dinamica haotică e descrisă tot de funcții obișnuite, dar traiectoriile sale în spațiul stare nu se închid niciodată și rătăcesc dezordonat (chiar dacă determinist) într-o regiune mărginită a spațiului stare din vecinătatea unui atractor straniu. Adică traiectoriile sunt mărginite, dar nu închise. În plus, acestea acoperă întreaga regiune mărginită fără ca să se repete vreodată (Ward și West, 1994).

O altă modalitate de a descrie atractorul haotic e dată de Doerner (2005), care arată că un astfel de atractor încorporează un număr infinit de orbite periodice instabile, care sunt ordonate ierarhic după lungimea lor.

Se poate constata că în TSDN, sensul termenului de haos e opus celui din limbajul comun, unde înseamnă dezordine totală. În TSDN, haosul e considerat a fi chiar esența ordinii (Ho, 1995), o ordine superioară, care de cele mai multe ori e foarte greu de perceput în mod direct. În sistemele haotice, care sunt neliniare, schimbări minore pot duce la fluctuații majore, pentru că acestea se propagă recursiv datorită neliniarității. Apariția atractorilor haotici face imposibilă predicția cu exactitate a stării în care se va afla sistemul, cu toate că, la nivel global, aceste traiectorii sunt ordonate. Așa cum arată Meiss (2003), într-un sistem haotic predictibilitatea crește doar logaritmic în raport cu creșterea preciziei măsurării condițiilor inițiale. Prin urmare, comportamentul global al unui sistem haotic va putea fi predictibil, chiar dacă nu se pot face determinări precise la nivel local (Ho, 1995). De aceea, Ho (1995) crede că în teoria haosului accentul trebuie să se pună nu pe dezordinea din sistem, pe impredictibilitatea sa inerentă, ci pe ordinea inerentă în el, adică pe comportamentul universal al unor sisteme similare, care ne permite să vorbim despre predictibilitate chiar și în cele mai instabile sisteme.

Încercând o sinteză a definițiilor date mai sus comportamentului haotic determinist (la nivelul unei stări, al atractorilor sau al întregului sistem), s-ar putea spune că nu există o caracterizare univocă a acestuia, dar se conturează un nucleu comun asupra căruia toți autorii sunt de acord, existând și câteva aspecte care îi diferențiază. Nucleul comun ar conține următoarele: *comportamentul haotic e comportamentul unui*

sistem dinamic determinist neliniar ale cărui traiectorii nu evoluează spre un atractor de tip punct fix, ciclu limită sau toroidal, dar nici nu diverg la infinit, ci se stabilizează într-o regiune limitată a spațiului fază, în cadrul căreia traiectoriile nu se autointersectează, prezentând și fenomenul sensibilității la condițiile inițiale. Apar diferențe între autori în ceea ce privește cerințele suplimentare impuse, în descrierea comportamentului traiectoriilor în regiunea atractoare (dacă, de exemplu, structura realizată de acestea e sau nu de tip fractal) etc.

Un exemplu ilustrativ și foarte accesibil oricărui cititor pentru ceea ce înseamnă comportament haotic este acela al modului de variație a intervalului dintre picăturile unui robinet, parametrul de control fiind debitul apei (Shaw, 1984, citat de Codreanu, 2007). Se poate constata că pentru un anumit nivel al debitului apare o curgere neregulată.

Sistemele dinamice pot să fie mai mult sau mai puțin haotice. Măsura în care un sistem dinamic este haotic este dată de *entropia Kolmogorov*, care s-a dovedit că este egală cu suma exponenților Lyapunov pozitivi (Pesin, 1977, cf. Codreanu, 2007). Despre acest tip de entropie se va discuta mai pe larg în secțiunea dedicată dinamicii informației.

Nu există o regulă generală care să specifice dacă într-un sistem dinamic va putea să apară sau nu un atractor haotic, dar există câteva reguli care stabilesc care trebuie să fie dimensionalitatea minimă pentru un astfel de sistem, care se bazează pe teorema lui Poincaré - Bendixon (Meiss, 2003). Potrivit acestei teoreme, pentru un sistem dinamic autonom cu ecuații diferențiale, e nevoie ca el să aibă mai mult de două variabile dinamice, dar pentru unul neautonom e suficient să aibă mai mult de o variabilă. În cazul sistemelor dinamice cu timp discret (cascade), pot să apară atractori haotici, deci un comportament extrem de complex, chiar și într-un sistem care are doar o singură variabilă (cum ar fi cazul aplicației logistice discrete, după cum se va vedea mai jos), cu condiția ca el să fie inversabil, adică să aibă o singură preimagime pentru fiecare stare (Meiss, 2003; Nowak și Lewenstein, 1994).

Poincaré (1924, citat în Robert și Roman, 1998) distinge trei situații în care poate apărea haosul, pe care el îl numește hazard: 1) o singură cauză minoră, care nu e trecută cu vederea; 2) un număr mare de cauze complexe, cum ar fi de exemplu mișcările moleculelor de gaz într-un recipient; 3) legătura a două sau mai multe procese diferite (prin simplă suprapunere sau până la interacțiune), situație care ar putea fi redusă adesea la primele două cazuri.

Potrivit lui Sardar şi Abrams (2002), sistemele oscilante devin haotice pentru că ele posedă un element de feedback neliniar, când forţele de tip neliniar se reîntorc asupra lor înşile, aceasta fiind o condiţie indispensabilă a haosului. Ei arată că în problema celor trei corpuri, pe care a încercat să o rezolve Poincaré, apare o mişcare haotică a corpurilor pentru că forţa de gravitaţie e neliniară şi ea se exercită reciproc între cele trei corpuri, ceea ce conduce la apariţia feedback-ului neliniar.

Cunoaşterea modului în care un sistem dinamic evoluează spre comportamentul haotic e importantă pentru că astfel se pot afla seturile de valori ale parametrilor de control pentru care un sistem dinamic va avea un comportament regulat, fiind astfel mai uşor predictibil şi controlabil, mai ales în cazul sistemelor dinamice artificiale (Voinea şi Stroe, 2000). Se vor prezenta mai jos, în secţiunea dedicată noţiunii de bifurcaţie, scenariile posibile prin care se poate ajunge la un comportament haotic.

Se disting mai multe tipuri de haos, după cum se va vedea, în funcţie de criteriile de diferenţiere folosite.

Kentridge (1994) vorbeşte de un aşa numit *haos slab*, cu dinamică mai slabă decât cea exponenţială, care e o putere de timp, apărând ca efect al unei perturbaţii asupra unui sistem aflat într-un regim critic. Citându-l pe fizicianul Saperstein, Robert şi Roman (1998) precizează că un criteriu prin care se poate departaja haosul tare de cel slab e următorul: dacă variaţiile finale, deşi sunt mari în comparaţie cu cele iniţiale, sunt, totuşi, destul de mici, e vorba de haos slab, iar în caz contrar, de haos tare. Cu alte cuvinte, un sistem nu este haotic atunci când fluctuaţiile reacţiilor (ieşirilor) sale corespund fluctuaţiilor solicitărilor din exterior (intrărilor), el prezintă un haos slab când fluctuaţiile reacţiilor sunt mai mari decât cele ale solicitărilor, dar nu depăşesc aşteptările, adică fluctuaţiile previzibile, şi e vorba de *haos tare* când fluctuaţiile le depăşesc pe cele cunoscute, fiind total imprevizibile.

După un alt criteriu de clasificare se vorbeşte de trei tipuri de haos: *spaţial* şi *temporal*, după cum structura haotică apare în spaţiu (când acesta trebuie să fie neomogen) sau în timp (când spaţiul e omogen) sau spaţio-temporal (Robert şi Roman, 1998).

Sugihara (1994, în Robert şi Roman, 1998) distinge între haosul stocastic (de tip probabilist) şi cel determinist, fiind de părere că primul dintre ele este mult mai frecvent decât cel din urmă.

Kaplan si Yorke (1979, cf. Codreanu, 2007) definesc şi ceea ce se numeşte *haos metastabil (metahaosul)* sau *haos tranzient*, care ar fi caracterizat de orbite periodice instabile sau orbite aperiodice, dar care nu sunt atractoare.

În plus, Robert şi Roman (1998) sugerează posibilitatea ca să fie descoperite diferite specii de haos sau de aleatoriu în diversele domenii care vor căuta haosul în fenomenele pe care le studiază.

Haologia, domeniul care se ocupă de studiul haosului, are tocmai rolul de a delimita între haosul stocastic şi cel determinist, între haosul teoretic şi cel real, între haosul slab şi cel tare, de a descoperi haosul acolo unde este camuflat (Robert şi Roman, 1998). Potrivit lui Robert şi Roman (1998), ea nu ar fi propriu-zis o ştiinţă, ci o reţea de concepte, raţionamente, experimente mentale şi simulări pe calculator grupate toate sub numele de haologie, care poate fi considerată a fi în pericolul de a se transforma mai degrabă într-o modă. O caracteristică esenţială a haologiei, a ceea ce s-ar putea denumi paradigma haosului este, potrivit autorilor citaţi, o preferinţă pentru complexitate care nu se transformă în "holism", ci acordă atenţie sporită relaţiilor dintre global şi local şi relaţiilor neliniare.

Unul din primele exemple de aplicare a noţiunii de haos la studiul fenomenelor naturale este acela al studiului cantitativ al ritmului bătăilor inimii şi al înregistrărilor EEG. S-a plecat de la ipoteza că sistemele fiziologice homeostatice menţin o stare haotică în condiţii normale şi trec într-un regim de oscilaţii periodice în stările patologice cum ar fi atacul de cord sau crizele epileptice, ipoteză care tinde să fie confirmată de datele obţinute până acum (Heath, 2000). În Fig. 15 se prezintă seria temporală a bătăilor unei inimi sănătoase, în cazul în care dinamica e una de tip haotic fractal, faţă de bătăile unei inimi la o persoană cu atac de cord, când apar oscilaţii periodice pe o singură scală, şi cazul unei pacient cu fibrilaţie atrială, când apare haosul aleatoriu, necorelat (după Goldberger, 1996).

Orizont de predicţie

Orizontul de predicţie reprezintă intervalul de timp după care orice predicţie privind comportamentul unui sistem dinamic devine imposibilă (Codreanu, 2007). După cum este menţionat de Codreanu (2007), el depinde logaritmic de eroarea în determinarea condiţiei iniţiale pentru cazul în care apare dependenţa sensibilă de condiţiile iniţiale (adică pentru sisteme haotice). Acest lucru ar însemna că el va creşte lent raportat la creşterea preciziei în determinarea condiţiei iniţiale. Pentru sistemele care nu sunt haotice, traiectoriile iniţial apropiate pot converge exponenţial de repede (cum e cazul sistemelor cu atractori de tip punct fix), fie se îndepărtează reciproc, dar mai lent decât exponenţial, ceea ce facilitează predicţia pe termen lung.

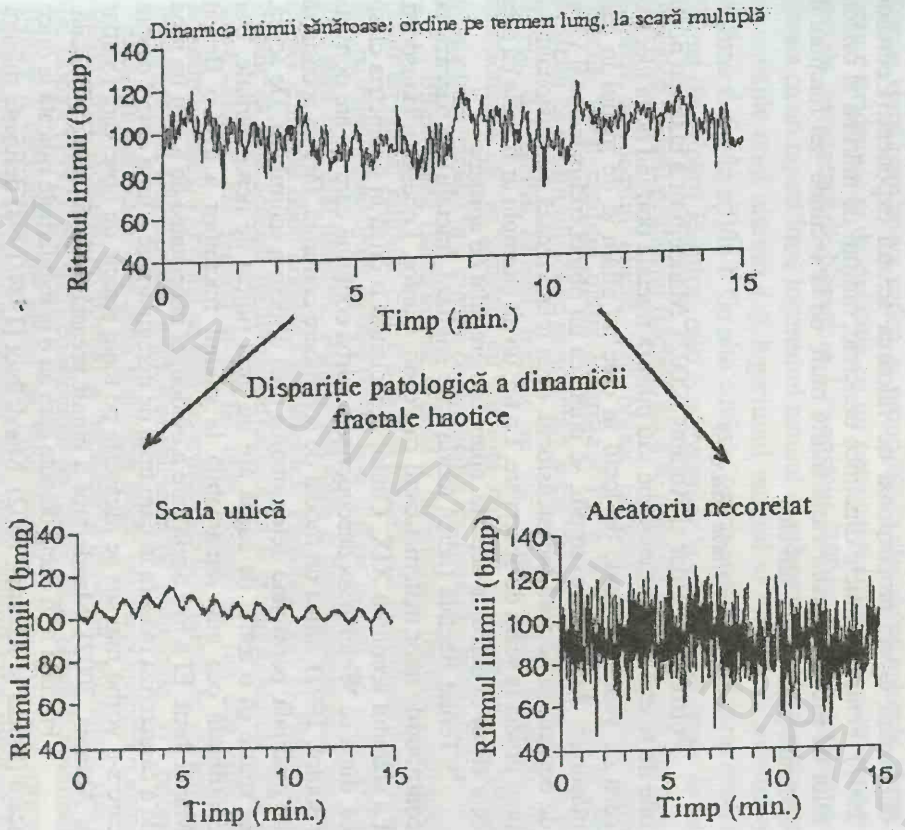


Fig. 15 Serii temporale pentru dinamica haotică a unei inimi sănătoase, față de dinamica apărută în atac de cord (stânga) sau fibrilație atrială (dreapta) (după Goldberger, 1996)

BCU "ASICE" TRANSILVANIA UNIVERSITY LIBRARY

Ponderea cea mai mare în determinarea orizontului de predicție o are exponentul Lyapunov cu valoarea cea mai mare, valoarea sa depinzând invers proporțional de valoarea acestui exponent (Codreanu, 2007). Pentru sistemele dinamice concrete, ordinul de mărime al orizontului de predicție poate varia foarte mult: de la secunde sau fracțiuni de secundă până la zile, ani etc.

Fractal, dimensiune fractală

Potrivit lui Sardar și Abrams (2002), Mandelbrot a elaborat noțiunile de fractal și de dimensiune sau măsură fractală pornind de la ideea că ceea ce vedem depinde de locul în care ne aflăm și de modul în care măsurăm. Astfel, de exemplu, se poate ca un obiect tridimensional văzut de departe să ne pară bidimensional, ceea relativizează dimensionalitatea unui obiect la scara de observare. La fel, un alt exemplu ar fi acela că ceea ce e văzut ca neted de departe, apare ca neregulat de aproape.

Teoria fractală (adică teoria care studiază fractalii) se bazează pe contribuțiile unor matematicieni ca Peano, Cantor, Lebesgue, Hausdorff. La sfârșitul secolului XIX, Cantor a declanșat o criză în geometria clasică, după ce Weierstrass descoperise o curbă continuă care nu are derivată (Boutot, 1997), adică un model de schimbare continuă, fără ca aceasta să fie graduală, permițând determinarea unei direcții a schimbării. De aceea, se spune că o astfel de curbă are un grad ridicat de neregularitate. Dar contribuția cea mai remarcabilă la studiul fractalilor a avut-o Benoît Mandelbrot. El a fost acela care a evidențiat necesitatea de a găsi un mod de a caracteriza măsura în care tipul de neregularitate a unui obiect despre care s-a vorbit mai sus se regăsește pe toate scalele de observare (Sardar și Abrams, 2002). Mandelbrot a numit această măsură, măsură fractală.

Fractalii ar fi acele obiecte care au o neregularitate ridicată la orice scară (Sardar și Abrams, 2002). Mandelbrot (1984/1998) definește măsura sau dimensiunea fractală ca fiind un număr care cuantifică gradul neregularității și fragmentării unei mulțimi geometrice sau ale unui obiect natural. În cazul figurilor geometrice obișnuite, dimensiunea fractală e un număr întreg, care corespunde dimensionalității din geometria clasică. Dar pentru noile obiecte geometrice care sunt fractalii, acest număr este unul rațional, fiind exprimat printr-o fracție, constituind principala lor proprietate.

Intuitiv, într-o altă formulare, Robert și Roman (1998) definesc dimensiunea fractală ca indicând modul în care o formă sau o serie temporală ocupă spațiul în care e reprezentată. Astfel, dimensiunea fracta-

lă poate fi considerată ca o generalizare a noțiunii tradiționale de dimensiune a obiectelor geometrice, una care e mult mai potrivită pentru a descrie, după cum se va vedea, și proprietățile obiectelor naturale. Acest lucru e evidențiat și de definiția cu un caracter mai tehnic a dimensiunii fractale, prezentată de Nowak și Lewenstein (1994). Ea este definită de aceștia ca un raport între logaritmul natural al mărimii obiectului măsurat cu unitățile unei mărimi *l* și logaritmul natural al unității de măsură a mărimii *l*: d = ln s(l)/ln l. Cu alte cuvinte, ar însemna că pentru un obiect format din *n* părți identice, care e autosimilar la orice scară (cum se va vedea că e cazul pentru un fractal), dacă se mărește de N ori una din cele n părți ale acestui obiect, s-ar obține obiectul întreg. Dimensiunea fractală, va fi raportul dintre logaritmul lui *n* și logaritmul lui N. Se constată că pentru obiectele nonfractale acest raport va conduce la valori întregi, dar pentru obiecte fractale se vor obține valori raționale. Se menționează că, în general, cu cât mai curbată și complexă e forma geometrică, cu atât mai mare e componenta fracționară a dimensiunii.

Proprietatea fractalilor de a avea o dimensiune fractală exprimată printr-un număr rațional, care e una mai tehnică, stă la baza altor proprietăți pe care Mandelbrot (1984/1998) le-a distins pentru a-i caracteriza, care sunt mult mai intuitive. Potrivit acestuia, o figură geometrică sau un obiect e fractal dacă combină următoarele caracteristici: 1) Părțile sale trebuie să aibă aceeași formă sau structură ca și întregul, numai că la o scară diferită, ele putând și să fie ușor deformate (cu alte cuvinte, autosimilaritate); 2) Forma sa este fie extrem de neregulată, fie extrem de întreruptă sau fragmentată, indiferent de scara de examinare; 3) Conține "elemente distinctive" ale căror scale sunt foarte variate și acoperă o gamă foarte largă. Aceleași proprietăți se regăsesc și într-o altă formulare, cea a lui Boutot (1997), ele fiind considerate de acesta ca și condiții minimale pentru a caracteriza un obiect ca fiind fractal. Ca și mai sus, prima caracteristică ar fi autosimilaritatea, prin care autorul citat înțelege că aceeași structură regulată se repetă recursiv la toate scalele de observație. A doua, ar fi aceea că el este prea neregulat pentru a putea fi descris în termenii geometriei euclidiene, fie la nivel local, fie la cel global. A treia caracteristică e aceea că are detalii la toate scalele de observație. Boutot (1997) observă însă că un fractal e greu de definit tocmai pentru că aceste caracteristici sunt doar condiții minimale și pentru că el poate fi considerat în același timp o structură geometrică sau un obiect natural.

Dintre cele trei proprietăți amintite, cea a autosimilarității pare să fie apreciată ca fiind cea mai importantă, dovadă fiind faptul că există autori, cum este și Mira (1987b), care definesc fractalul doar pe baza ei. De exemplu, acesta îl definește ca fiind o structură în care organizarea întregului este asemănătoare cu organizarea părților, chiar la nivel infinitezimal. Exprimată cu alte cuvinte, proprietatea autosimilarității înseamnă că dacă se mărește o parte a unui fractal în toate direcțiile cu un același factor, modelul mărit va fi similar celui original, exprimând invarianța față de scală (Codreanu, 2007). Proprietatea autosimilarității este formulată de Sardar și Abrams (2002) pentru a defini și ceea ce ei numesc un sistem fractal, adică un sistem pentru care orice subsistem este echivalent cu întregul sistem. Totuși, există autori (de exemplu, Nowak și Lewenstein, 1994) care remarcă faptul că nu întotdeauna cerința autosimilarității ar trebui să fie una foarte strictă, pentru că, de obicei, în lumea reală, această proprietate se va putea regăsi doar pentru câteva scale și nu pe un domeniu infinit.

În afara celor trei proprietăți mai sus amintite, există și altele, care decurg din acestea. Astfel, Clayton (1997) arată că pentru un fractal, conceptul de lungime nu are nici un sens. De aceea, pentru că, de exemplu, țărmul unei mări a fost considerat ca având o structură de fractal, lungimea acestuia nu poate fi măsurată exact. Relaționată cu această proprietate este și aceea evidențiată de Flake (1998, în Holbrook, 2003), potrivit căreia, deși se poate da o descriere foarte precisă comportamentului unui fractal prin regula sa de generare, acesta nu va putea să fie niciodată realizat complet în realitate prin programe de generare, pentru că ele ar trebui să nu se oprească niciodată. Marks-Tarlow (2002a) remarcă și alte proprietăți paradoxale, surprinzătoare ale fractalilor. Una din ele ar fi că un fractal poate forma un întreg, o unitate, fără ca fragmentele din care e format să fie unite, fiind discontinue. Un exemplu de astfel de fractal are un nume foarte sugestiv: *prafil lui Cantor*. El se obține după următoarea procedură: se ia un segment de dreaptă (numit inițiator) și se împarte în trei părți egale. Se elimină partea din mijloc și se repetă aceeași procedură cu cele două segmente de dreaptă rămase (care reprezintă generatorul) și tot așa mai departe. Primele etape ale aplicării unei astfel de proceduri pot fi vizualizate în Fig. 16.

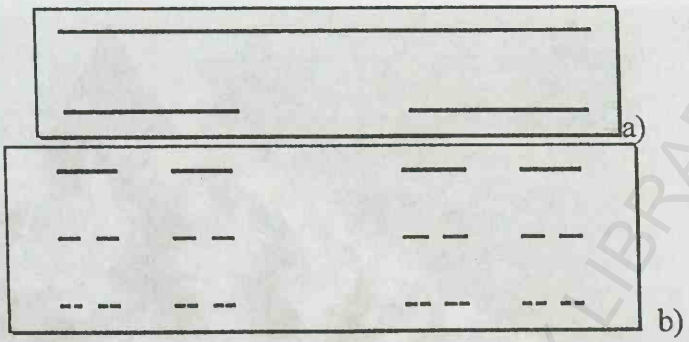


Fig 16 Primele niveluri în construirea prafului lui Cantor: a) inițiatorul și generatorul; b) nivelurile 2, 3 și 4 în construirea prafului lui Cantor

O altă proprietate pe care autorul citat mai sus o evidențiază este aceea că fractalii pot fi considerați a fi forme dinamice. El aduce trei argumente în acest sens. Primul ar fi acela că structura fractală facilitează propagarea unei patern de la o scară mică la o scară mare sau invers. Al doilea este acela că atunci când se privește un fractal care rezultă dintr-un proces dinamic se observă două tendințe contradictorii reunite: spațiul din afara fractalului are o expansiune imprevizibilă către infinit, cu diferite viteze, indicate de gradațiile culorii când fractalul e reprezentat grafic cu ajutorul culorilor sau al nuanțelor de gri (vezi Fig. 17). În schimb, spațiul din interiorul fractalului este ordonat și e relativ stabil datorită atracției către unul sau mai multe puncte fixe. De fapt, fractalul ar fi reprezentat de granița dintre cele două regiuni, exterioară și interioară. Marks-Tarlow (2002a) arată pentru că acesta e plasat la interfața dintre zona limitată și cea nelimitată, el se află și la limita dintre stabilitate și lipsa controlului, autoorganizându-se într-o zonă de graniță infinit de profundă, "care se mută dinamic odată cu perspectiva observatorului". În ultimul rând, Marks-Tarlow (2002b) evidențiază faptul că dacă se încearcă măsurarea lungimii unui fractal, cu cât mai mică va fi unitatea de măsură, cu atât mai mare e valoarea lungimii măsurate, ceea ce îl determină să afirme că ceea ce se măsoară, de fapt, e "relația dintre observator și fractalul observat".

Alte exemple de fractali se găsesc în Fig. 18, Fig. 19, Fig. 24, Fig. 29 și Fig. 31(b).

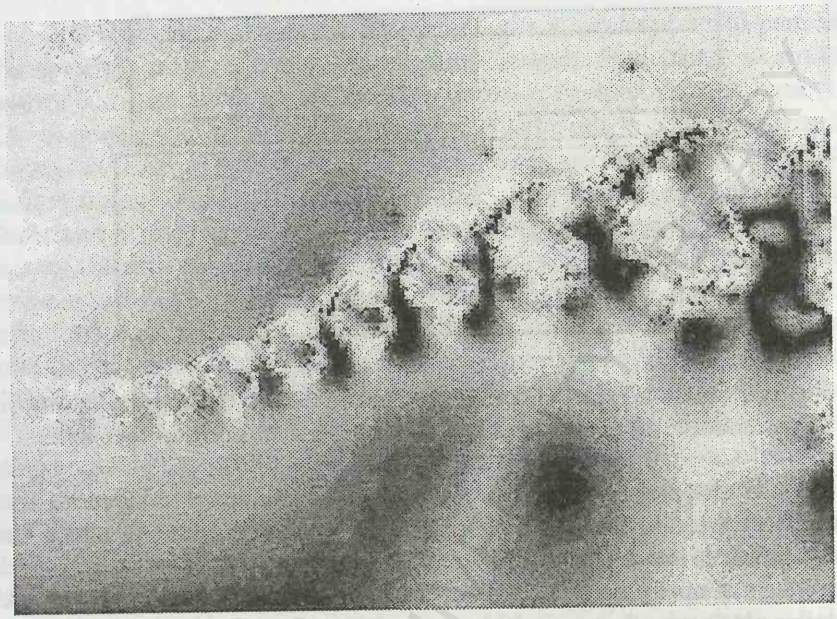


Fig. 17 Expansiunea către infinit cu diferite viteze, indicate de gradațiile de gri, pentru spațiul exterior al unui fractal (imaginea fractalului e preluată de la Courcy, n. d.)

După caracteristicile lor se disting mai multe tipuri de fractali. În primul rând, ei se clasifică în două mari categorii. În afară de fractalii definiți mai sus, există și *fractalii stocastici sau aleatorii*, când proprietatea autosimilarității se aplică unei distribuții de probabilitate, fiind doar aproximativă, statistică. Atunci, structura unui subsistem sau a unei părți a fractalului va fi doar aproximativ echivalentă cu structura întregului (Sardar și Abrams, 2002). Marks-Tarlow (2002a) numește fractalii stocastici și neliniari, aceștia fiind cei mai numeroși în natură. *Fractalii lineari* ar fi pentru el cei în care autosimilaritatea e exactă. Marks-Tarlow (2002a) clasifică fractalii și după dimensionalitatea lor, variind între o dimensionalitate mai redusă sau una mai ridicată. El indică și modul în care un fractal își poate schimba dimensionalitatea, crescându-și-o, prin adăugarea recursivă a unei structuri mai complicate. Un exemplu ar fi fractalul numit fulg de zăpadă, care se bazează pe un alt fractal, așa numita curbă a lui Koch (imaginea lor se găsește în Fig. 18).

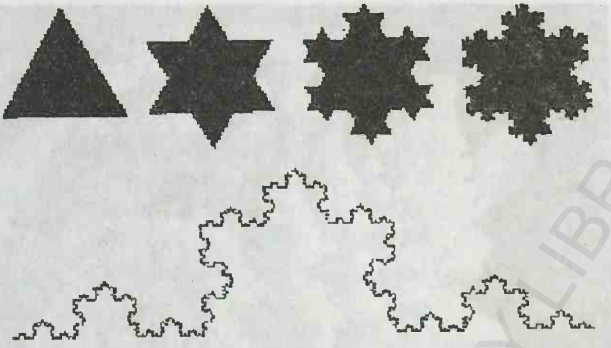


Fig. 18 Curba lui Koch, în partea de jos, şi fractalul fulgului de zăpadă, în partea de sus (după Rae, 2003)

Fractalul fulgului de zăpadă se obţine prin înlocuirea laturii treimii din mijloc a unui triunghi cu triunghiuri mai mici. De asemenea, un fractal îşi poate reduce dimensionalitatea, prin eliminarea recursivă a unei structuri, cum se întâmplă în cazul prafului lui Cantor.

Fractalii pot fi caracterizaţi ca fiind *determinişti* sau *aleatorii*, după cum procesul care îi generează este unul determinist, respectiv unul stocastic (Codreanu, 2007).

La modul sintetic, se poate spune, prin urmare, că fractalul este un obiect geometric cu o dimensiune fracţionară, care are o structură similară sau statistic similară (Codreanu, 2007).

Studiul fractalilor este important pentru că se presupune că obiectele naturale sunt, de fapt, structuri fractale (cum e, de exemplu, cazul norilor, al ţărmurilor, al sistemului circulator etc., vezi, spre exemplu, Fig. 19) şi, de asemenea, şi traiectoriile atractorilor haotici, mai precis ale celor stranii, aşa cum se va vedea mai jos, au proprietăţi fractale (Clayton, 1997). Ele sunt mai uşor evidenţiate atunci când, aşa cum arată Abraham (1996), se consideră paternul de intersectări succesive ale unei traiectorii haotice cu un plan transversal din spaţiul fază, care poate fi *planul Lorenz* sau *Poincaré*, sau, pentru cazul unui atractor într-un spaţiu fază bidimensional, cu o linie transversală, numită *secţiunea Lorenz* sau *Poincaré*.

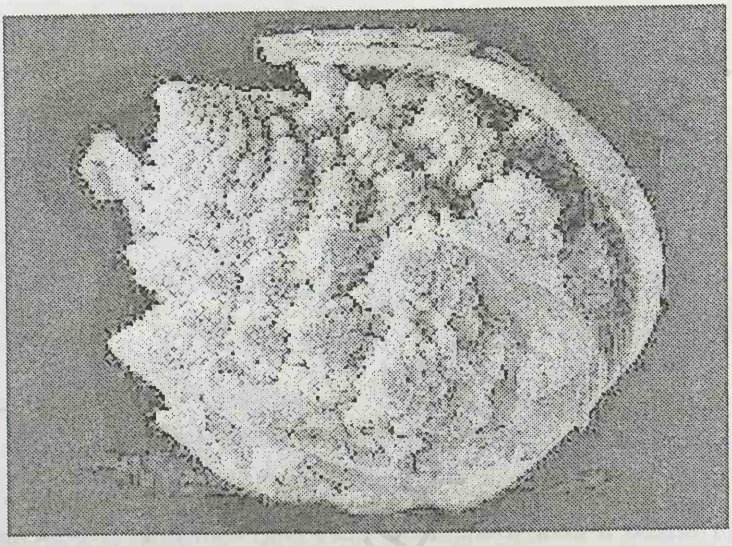


Fig. 19 Un exemplu surprinzător de fractal din natură: conopidă românească

Se obține astfel o altfel de reprezentare a atractorului unui sistem dinamic, într-un spațiu redus cu o dimensiune (pentru că una din variabilele dinamice este menținută constantă), care e rezultatul mulțimii de puncte care rezultă prin intersectarea planului (sau liniei) cu traiectoriile atractorului (vezi Fig. 20a). În acest fel, un flux continuu se transformă într-o aplicație discretă.

Paternul punctelor de secțiune cu un plan (sau linie), ca cel despre care s-a discutat mai sus, are adesea o structură de fractal. Ea nu poate fi redată grafic, ci doar, cel mult, sugerată, printr-un set de puncte care surprinde paternul fractal doar până la un anumit nivel de detaliu (vezi Fig. 20b).

La fel, structuri fractale apar, după cum se va vedea mai jos, și în diagramele de bifurcație ale unor procese dinamice (vezi Fig. 24). Potrivit lui Mandelbrot (1984/1998), dimensiunea fractală are, de asemenea, un rol și în caracterizarea anumitor structuri arborescente de clasificare care intervin, de exemplu, în explicarea legii frecvenței cuvintelor într-un discurs sau pentru anumiți arbori de ierarhizare, cum ar fi distribuția formelor de venit personal. De aceea, Mandelbrot compară fractalul cu un foc de artificii pe mai multe niveluri.

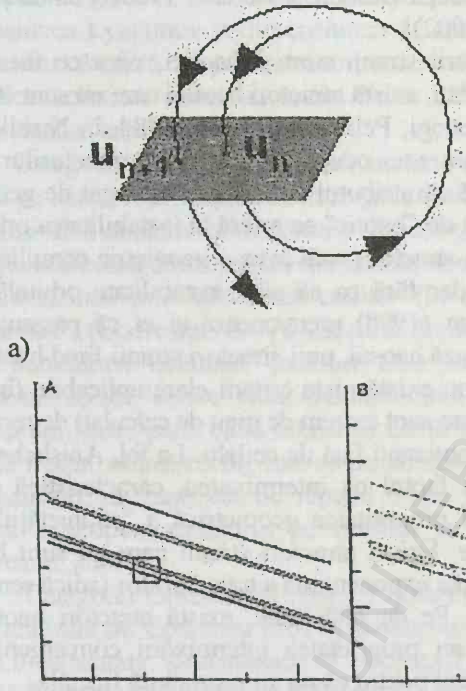


Fig. 20 (a) Secțiune cu un plan Poincaré în două puncte ale unei traiectorii (după Elmer, 1998); (b) Structura de fractal a atractorului Hénon, evidențiată de o imagine mărită a unei porțiuni din diagrama A redată în diagrama B (după Nowak și Lewenstein,1994)

Legătura dintre TSDN și conceptul de fractal se reflectă și în faptul că structurile fractale pot fi generate prin iterații sau prin integrarea numerică a sistemelor dinamice continue (Codreanu, 2007) și, tocmai de aceea, pot să apară atractori cu structură de fractal.

Atractor straniu

Deși ca fenomen a fost descoperit de Lorenz, conceptul de atractor straniu a fost introdus și studiat mai sistematic de alți doi matematicieni, Ruelle și Takens, în anii șaptezeci ai secolului trecut, într-un articol care

se referea la natura turbulenței (Robert și Roman, 1998; Voinea și Stroe, 2000; Sardar și Abrams, 2002).

Deși uneori atractorii stranii sunt și haotici, ceea ce face ca de multe ori ei să fie confundați, există atractori haotici care nu sunt stranii și invers (Meiss, 2003). Grebogi, Pelikan și Yorke (1984, în Nishikawa și Kaneko, 1996), primii care s-au ocupat de problema atractorilor stranii care nu sunt haotici, arată că atributul de "straniu" e legat de geometria atractorului, pe când acela de "haotic" se referă la instabilitatea orbitală a dinamicii. Prin urmare, un atractor poate avea o geometrie complicată, de tip fractal, fiind straniu, dar fără ca să aibă instabilitate orbitală, fiind nehaotic. Robert și Roman (1998) menționează și ei că prezența unui atractor straniu nu garantează haosul, unii atractori stranii fiind haotizanți, iar alții nu. Actualmente nu există niște criterii clare aplicabile (în afara coeficienților Lyapunov, care sunt extrem de greu de calculat) de recunoaștere a atractorilor stranii haotizanți față de ceilalți. La fel, Anishchenko și Strelkova (1988) remarcă faptul că intermixarea, caracteristică pentru comportamentul haotic, și proprietatea geometrică a "stranietății" unui atractor sunt independente. Există atractori stranii care nu sunt haotici pentru că nu au o instabilitate exponențială a traiectoriilor (adică sensibilitate la condițiile inițiale). Pe de altă parte, există atractori haotici în sistemele disipative care au proprietatea intermixării convergenței cu divergența, dar nu sunt stranii pentru că nu au o structură fractală.

Potrivit lui Voinea și Stroe (2000), un atractor straniu trebuie să aibă o structură de fractal a frontierei bazinului său de atracție. Când atractorul straniu e și haotizant, cu cât dimensiunea fractală a atractorului va fi mai mare, cu atât mai puțin predictibil va fi comportamentul sistemului, datorită sensibilității la condițiile inițiale (Voinea și Stroe, 2000). În general, dimensiunea atractorilor stranii care au o structură de fractal va depinde de valoarea parametrilor de control (Nowak și Lewenstein, 1994).

Atractorii stranii nehaotici apar în cursul tranziției de la un atractor de tip toroidal la unul de tip haotic sau în sistemele dinamice care sunt conduse de inputuri oscilatorii care au frecvențe incomensurate (Yalçinkaya și Lai Y.-C., 1997). Un atractor straniu care nu e haotizant poate degenera într-un ciclu limită și ulterior într-un punct fix (Robert și Roman, 1998)

Dimensiuni folosite pentru a descrie un atractor

Realizând o prezentare sintetică a acestor dimensiuni, Codreanu (2007) distinge între patru categorii ale acestora (după modul de determi-

nare), numite generic: dimensiunea fractală, dimensiunea măsurii naturale, dimensiunea Lyapunov şi dimensiunea de corelare. Studiul lor e important pentru că oferă căi prin care se pot investiga proprietăţile sistemelor dinamice neliniare concrete, unele dintre ele fiind utilizate în practică pentru analiza seriilor temporale.

Categoria *dimensiunii fractale* include dimensiuni care se definesc numai pe baza proprietăţilor metrice (adică cele referitoare la distanţe) ale structurii unui atractor: *dimensiunea Hausdorff* şi varianta sa simplificată, care generalizează dimensiunea euclidiană, *dimensiunea capacitate*, numită şi dimensiunea prin calcularea cutiilor (în engleză, "*the box counting dimension*") (Codreanu, 2007). Calculul dimensiunii capacitate se bazează pe numărarea "celulelor" (cutiilor) care sunt necesare pentru a acoperi atractorul, aceste "celule" fiind rezultatul unui şir de partiţionări succesive a spaţiului stare, până când mărimea celulelor tinde către zero. Dimensiunea fractal, notată ca D_0, care se calculează ca o limită, este interpretată ca indicând, de fapt, cât de repede creşte numărul celulelor necesare pentru a acoperi atractorul pe măsură ce mărimea lor scade (după Codreanu, 2007).

Categoria dimensiunii *măsurii naturale* include, conform prezentării realizate de Codreanu (2007), dimensiunea informaţională, dimensiunea θ-capacitate, dimensiunea θ- Hausdorff, dimensiunea punctuală sau locală (în engleză, "pointwise"), dimensiunea Hausdorff a nucleului.

După cum arată Codreanu (2007), spre deosebire de dimensiunea fractală, *dimensiunea informaţională* ia în calcul o diferenţiere probabilistă între celulele care acoperă atractorul, pe baza frecvenţei cu care traiectoria sistemului le vizitează. În acest fel, se poate defini o măsură naturală pentru fiecare celulă a partiţiei care acoperă atractorul, ţinându-se cont de fracţiunea de timp dintr-un interval T pe care o petrece sistemul într-o anumită celulă dacă evoluţia sa pleacă de la o condiţie iniţială *x* din bazinul de atracţie (cu condiţia ca frecvenţa cu care e vizitată această celulă să fie aceeaşi, indiferent de condiţia iniţială). Dimensiunea informaţională (definită de Balatoni şi Renyi, 1956, cf. Codreanu, 2007), notată cu D_1, se calculează pornind de la această măsură naturală, ca limită obţinută pe baza unei mărimi reprezentând cantitatea de informaţie necesară pentru a specifica starea unui sistem cu o anumită precizie. Corelativ, ea este informaţia care se obţine dacă se efectuează o măsurătoare cu acea precizie (indicând, practic, rata de creştere a informaţiei necesare specificării stării sistemului într-o regiune atractoare, atunci când precizia unei măsurători

scade). D_0 este egală cu D_1 atunci când toate celulele atractorului sunt la fel de frecvent vizitate, în restul situațiilor D_1 fiind mai mică sau egală cu D_0 (Codreanu, 2007). *Dimensiunea punctuală* se definește prin raportarea la măsura probabilistă naturală a unei sfere care are dimensionalitatea sistemului, centrul într-un punct *x* (situat într-o regiune atractoare) și raza dată de mărimea preciziei de măsurare (Codreanu, 2007).

Dimensiunea Lyapunov (Kaplan si Yorke, 1979, citați de Codreanu, 2007), care e egală cu dimensiunea informațională, se calculează plecând de la cel mai mare număr întreg de exponenți, astfel încât suma lor e mai mare sau egală cu zero.

Dimensiunea de corelare (Grassberger, 1983, citat de Codreanu, 2007), notată cu D_2, se calculează atunci când se cunosc valorile punctelor traiectoriei din spațiul fazelor, pe baza a ceea ce se numește *integrala de corelare* (Codreanu, 2007). Ea este dimensiunea care se calculează cel mai frecvent atunci când se analizează o serie temporală obținută prin observarea unui proces care evoluează în timp, pentru aceasta fiind necesar un număr finit, deși destul de mare, de valori ale stărilor sistemului din regiunea atractoare (Codreanu, 2007).

În cazul în care se dorește reconstruirea spațiului fazelor al unui sistem dinamic pe baza unei serii temporale obținute prin înregistrarea comportamentului său, este importantă și *dimensiunea de scufundare* (în engleză, "*the embedding dimension*"). Ea reprezintă dimensiunea spațiului reconstruit al fazelor în care atractorul sistemului dinamic studiat poate fi "scufundat", adică în care proprietățile esențiale ale acestuia vor fi conservate (existând o asemănare calitativă între portretul din spațiul fazelor corespunzător sistemului dinamic și spațiul fazelor reconstruit). Conform teoremei lui Whitney (1936, citat de Codreanu, 2007), dimensiunea de scufundare trebuie să aibă o valoare mai mare decât dublul dimensiunii mulțimii atractoare a sistemului dinamic modelat.

Perturbare. fluctuație

În sensul cel mai larg, o *perturbare* (perturbație) e orice intervenție din exterior care schimbă condițiile inițiale de la care pleacă un sistem dinamic, adică îi schimbă starea în care se află la un moment dat sau orice schimbare a legii dinamice prin modificarea valorii unui parametru de control. În sens mai restrâns, se poate numi perturbație numai acea intervenție care mută un sistem care se afla într-o stare stabilă într-o nouă stare, instabilă. Dacă sistemul se întoarce, după perturbație, la o stare stabilă, în

care se afla înainte de perturbație, se spune că atractorul în care se afla este rezistent la perturbații. La fel, dacă modificarea unui parametru de control nu aduce o schimbare calitativă a comportamentului în timp al sistemului, ci doar una cantitativă, se spune că sistemul este rezistent la acea perturbație. Într-un sens și mai restrâns, se impune condiția ca o perturbație să producă o schimbare relativ mică în starea sau dinamica unui sistem sau una care să fie numai temporară.

Așa cum se va putea constata ulterior, în cele de mai jos, noțiunea de perturbație este corelativă și complementară noțiunii de stabilitate. Puterea unei perturbații va fi dată de măsura în care, după perturbare, energia acesteia se va pierde treptat, prin interacțiuni, și se va stinge (Lucas, 2005a), sistemul păstrându-și în final stabilitatea. De asemenea, după cum arată Lucas (2005a), puterea perturbației va fi și în funcție de durata efectului său (adică durata tranziției) și de schimbarea permanentă care a rezultat în sistem ca efect al acțiunii ei (dacă apare vreuna). Pentru sistemele care evoluează înspre un atractor de tip punct fix, ciclu limită sau toroidal, durata tranziției (timpul în care se produce efectul perturbației) va fi finit. În schimb, în cazul sistemelor haotice, durata tranziției ar fi infinită, pentru că ele nu se vor mai reîntoarce niciodată la starea inițială (Lucas, 2005a). Acest lucru ar însemna că, la nivelul lor, datorită sensibilității la condițiile inițiale, puterea unei perturbații, în ceea ce privește schimbarea stării sistemului, va fi foarte mare. Sistemele statice sunt acele sisteme care nu sunt afectate de perturbații, durata tranziției fiind zero (Lucas, 2005a).

Fluctuația se referă, la modul cel mai general, la o modificare a felului în care o variabilă sau starea unui sistem se schimbă de la un moment la altul (van Geert, 1998). Această modificare este percepută din două puncte de vedere. Ea se poate datora unei legi dinamice proprii, de tip neliniar, care guvernează schimbarea acelei variabile sau a stării unui sistem. Când această lege e neliniară, rata schimbării variabilei sau a stărilor unui sistem nu va fi constantă și se poate vorbi de o modificare a felului în care acestea se schimbă, chiar dacă legea după care se schimbă a rămas aceeași. Pe de altă parte, fluctuația se poate datora apariției unei perturbații, caz în care ea capătă sensul specific de oscilație (de schimbare în timp a sensului în care are loc schimbarea) în jurul stării stabile a unui sistem după ce acesta a fost scos din starea de echilibru. Ea se poate atenua progresiv în timp, până la dispariția totală, când sistemul se stabilizează definitiv. În contextul dat, fluctuația va constitui modul de manifestare a

perturbației la nivelul unui sistem dinamic. Totuși, și în această situație, fluctuația nu e efectul exclusiv al perturbației, ci și al dinamicii intrinseci a sistemului după ce acesta a fost forțat să iasă dintr-o stare stabilă. Dacă se produce o modificare chiar a legii dinamice, prin schimbarea unui parametru de control, atunci schimbarea se produce exclusiv din exterior.

O perturbație sau fluctuațiile se pot transforma, după cum observă Prigogine și Stangers (1988/1997), într-un eveniment, dacă ele devin sursa unei transformări calitative într-un sistem. În acest context, merită remarcat că, de exemplu, într-un sistem complex, paternurile de comportament global se datorează fluctuațiilor elementelor locale, care, prin cuplare, după cum se va vedea mai jos, generează un model stabil la nivel global.

Voinea și Stroe (2000) definesc noțiunea de perturbație, pe care ei o folosesc ca sinonimă pentru aceea de fluctuație, în contextul particular al comportamentului unui sistem dinamic real în comparație cu modelul său matematic. Astfel, ei disting, în acest context, două tipuri de perturbații sau fluctuații: interne și externe. *Perturbațiile interne*, numite și *zgomot*, sunt acele perturbații foarte mici care se datorează unor factori neglijați, care nu au fost incluși în modelul matematic al sistemului dinamic, fiind considerați a nu influența semnificativ comportamentul acestuia. Acest lucru face să apară discrepanțe între comportamentul anticipat pe baza modelului și cel real. *Perturbațiile externe* se referă la destabilizări ale sistemului datorate unor factori externi sistemului, care conduc la modificări și în comportamentul modelului, corespunzând perturbațiilor sau fluctuațiilor despre care s-a vorbit în paragrafele anterioare.

Stabilitate, instabilitate, multistabilitate, metastabilitate

La fel ca și noțiunea de atractor, noțiunea de stabilitate e un concept crucial, prin care sistemele dinamice se diferențiază de cele statice. Matematicianul Smale o considera proprietatea cea mai importantă a unui sistem dinamic (Robert și Roman, 1998). După Arbib (1995), stabilitatea unui sistem se referă la ceea ce se întâmplă într-un sistem care nu e perturbat, adică unul pentru care inputul este păstrat constant și ea caracterizează un sistem dinamic.

Stabilitatea e un concept strâns legat de acela de echilibru. Potrivit lui Arbib (1995), se pot distinge două tipuri de echilibru, după criteriul modului de schimbare a stării sistemului. *Echilibrul static* se referă la situația în care starea sistemului nu se mai schimbă. *Echilibrul dinamic* se referă la situația în care schimbarea sistemului se produce în același mod.

Un sistem stabil tinde să păstreze echilibrul sistemului în situația apariției unei ușoare perturbări, adică a unei schimbări de intensitate redusă a inputului (Arbib, 1995). Văzut din punctul de vedere al stabilității, adică al menținerii sale după o perturbare, echilibrul (indiferent dacă este static sau dinamic) poate fi de trei tipuri. Primul este *echilibrul instabil*, când efectul unei perturbări a sistemului va tinde să crească în timp (Arbib, 1995) sau, într-o altă formulare, când o schimbare mică în sistem duce la o schimbarea majoră în acesta (Lucas, 2002). Al doilea e *echilibrul neutru*, când efectul inițial al unei perturbări minore (schimbarea produsă în sistem), se păstrează în timp (nu provoacă și alte schimbări). Al treilea e *echilibrul stabil*, când efectul inițial al unei perturbări va tinde să scadă în timp, fiind neutralizat.

Abraham (1996) arată că modul în care este astăzi conceptualizată stabilitatea este unul mai liberal decât în trecut. Inițial, se considera că singurul comportament stabil în biologie și științele comportamentale este cel care corespunde azi atractorului de tip punct fix, fiind asociat fenomenului homeostaziei. Astăzi însă, sunt considerate stabile și acele comportamente care corespund atractorilor periodici și haotici. Motivul acestei extinderi de sens e, probabil, așa cum s-a văzut mai sus, realizarea distincției dintre stabilitate și echilibru static și dinamic. Inițial, stabilitatea era echivalată doar cu echilibrul static. Abraham (1996) menționează două tipuri de stabilități. *Stabilitatea în stare de echilibru* apare atunci când perturbațiile stării de echilibru duc doar la reîntoarcerea la echilibru. *Stabilitatea departe de echilibru* apare când perturbațiile duc la potențialul de a se atinge noi stări de stabilitate, care să aibă un rol atractiv (dând ca exemplu analog acela al valorizării unui act prin procesul de întărire). Pentru cazul stabilității în stare de echilibru, Voinea și Stroe (2000) menționează distincția dintre *stabilitatea simplă* (sau *slabă*) și cea *asimptotică* (sau *tare*). *Stabilitatea simplă* a unei stări de echilibru ar fi aceea care apare când, după o mică perturbație, sistemul va rămâne în vecinătatea acelei stări pentru orice moment de timp ulterior, fără ca ea să se întoarcă, în mod obligatoriu, la starea de echilibru inițială. Se spune că o stare de echilibru este *asimptotic stabilă* atunci când este simplu stabilă și, în plus, după o mică perturbație inițială, sistemul tinde la infinit să ajungă la starea de echilibru inițială, caz în care aceasta este, de fapt, un atractor. Elmer (1998) numește stabilitatea simplă ca *stabilitatea Lyapunov* sau *stabilitate marginală* sau *internă*, considerată a fi mai slabă, când orice orbită care pornește din vecinătatea unei mulțimi limită rămâne în vecinătatea sa.

Stabilitatea asimptotică ar cere ca, în plus față de stabilitatea Lyapunov, așa cum s-a văzut mai sus, orice orbită care pornește din vecinătatea unei mulțimi limită să se și apropie asimptotic de aceasta, adică să nu rămână doar în vecinătatea sa. O distincție similară, dar și mai riguroasă, folosind și alți termeni, e menționată de Robert și Roman (1998). Ei descriu trei tipuri de stabilități. *Stabilitatea Lyapunov* ar consta în aceea că perturbărilor mici ale pozițiilor inițiale în spațiul stare le corespund abateri tot mai mici ale sistemului de la o mișcare dată. *Stabilitatea Lagrange* ar fi proprietatea sistemului de a rămâne în permanență într-un domeniu limitat al spațiului fază. Aceste prime două tipuri ar corespunde stabilității Lyapunov definită de Elmer (1998). Ultimul tip de stabilitate ar fi *stabilitatea Poisson* (echivalentă celei asimptotice), care se referă la proprietatea unui sistem de a reveni cândva, oricând, oricât de aproape de poziția inițială în spațiul stare.

Porte (1994) definește altfel stabilitatea simplă și cea asimptotică. Cea simplă o consideră ca o *stabilitate statică*, care se folosește cu referire la obiectele care sunt mereu identice cu ele însele. Apoi el distinge *stabilitatea unei mișcări*, care rămâne aceeași după ce a suferit o perturbare, dând ca exemplu ceasul mecanic care are un bun reglaj. Acestea ar fi tipurile de stabilități care au fost folosite, în concepția sa, în mod curent, până la apariția TSDN. În TSDN ar apărea un al treilea tip, acela al *stabilității structurale*, pe care o numește și asimptotică, în care un sistem revine la mișcarea pe care ar fi avut-o dacă n-ar fi intervenit perturbația care l-a determinat să se miște, un timp, în jurul mișcării pe care ar fi putut s-o aibă. Dar, pentru a reveni la o stare anterioară, sistemul trebuie să cheltuiască în mod ireversibil energie, ceea ce face să fie vorba de un proces termodinamic, de tipul reflexului reglator din biologie. Porte (1994) menționează că un astfel de proces poate fi geometrizat prin intermediul teoriei catastrofelor, cum se va vedea mai jos, pentru că reglarea presupune schimbări de formă prin cheltuirea ireversibilă a unei energii, ceea ce este exact ce se petrece într-o catastrofă. Astfel, în ideea de stabilitate structurală s-ar "concilia *reversibilitatea* (reîntoarcerea la o stare anterioară) și *ireversibilitatea* (cheltuirea de energie pentru a realiza aceasta)", după cum observă Porte (1994).

Încercând o definiție generalizatoare, Mandell și Selz (1994) vorbesc de *stabilitate hiperbolică*, care se obține prin reunirea influențelor simultane stabilizatoare și destabilizatoare dintr-un sistem dinamic. Rezultatul obținut va fi o invariantă a sistemului în raport cu condițiile inițiale, defi-

nind un continuum al stabilității. Autorii mai sus citați menționează că acest concept poate înlocui conceptul vechi al homeostaziei reglate prin feedback, sistemul încercând să mențină nu o anumită stare, ci anumiți invarianți ai mișcării, anumite geometrii stabile, recognoscibile, ale spațiului fază, adică atractorii. Cu alte cuvinte, e vorba de păstrarea echilibrului dinamic.

Folosind o altă terminologie, mai apropiată de cea de tip cibernetic, Van Geert (1994) definește starea stabilă ca fiind acea stare a unui sistem în care inputurile sunt identice cu outputurile. O idee apropiată este exprimată și de Robert și Roman (1998), care consideră că un sistem este stabil dacă variațiile finale sunt comparabile cu variațiile inițiale. Într-o formulare specifică pentru TSDN, Banaji (2005) arată că stabilitatea ne indică modul în care se comportă traiectoriile învecinate ale unui sistem dinamic: cu cât acestea rămân mai apropiate, cu atât sistemul va fi mai stabil.

Cele discutate până acum despre stabilitate s-au referit la ea la modul general sau fără a se face o mențiune expresă cu privire la o distincție importantă, evidențiată de Clayton (1997). Acesta arată că nu trebuie să se confunde *stabilitatea unui sistem* și *stabilitatea unui atractor* din spațiul stare care îi corespunde.

Un sistem se stabilizează într-un atractor care poate fi mai mult sau mai puțin stabil. *Stabilitatea atractorului* va fi caracterizată, pe scurt, după cât de ușor sistemul poate fi mutat din regiunea atractoare printr-o perturbație. Există mai multe criterii de evaluare sau indicatori ai acestei ușurințe: variabilitate scăzută în jurul stării atractoare la un același nivel al perturbației, rezistența la perturbație (dată de nivelul perturbației pentru care sistemul iese din starea atractoare) și reîntoarcerea rapidă a sistemului la starea stabilă a atractorului după o perturbație (Wallocot și Jensen, 1996). Rata schimbării sistemului va fi, în acest din urmă caz, un indicator puternic al distanței față de punctul de echilibru (Heylighen, 1991). Atractorii au proprietatea stabilității asimptotice, una puternică, în vreme ce cvasiatractorii pot avea numai o stabilitate Lyapunov, adică una mai slabă (Elmer, 1998). Dacă stabilitatea unui atractor se păstrează pentru orice valoare a perturbației se vorbește de *stabilitate globală*, iar dacă ea se menține doar pentru valori ale acesteia situate sub un anumit nivel prag, se discută despre *stabilitatea locală*.

În afară de stabilitatea unui atractor, se mai poate defini și *stabilitatea unei traiectorii*, corespunzând cazului în care o mică schimbare în condițiile inițiale conduce, întotdeauna, doar la mică schimbare de

traiectorie (Port şi van Gelder, 1995). Există o legătură între noţiunea de stabilitate a unei traiectorii şi aceea de sensibilitate la condiţiile iniţiale ale unui sistem, în sensul că, pe măsură ce un sistem este mai sensibil la condiţiile iniţiale, traiectoriile sale vor fi mai puţin stabile.

În ceea ce priveşte *stabilitatea unui sistem*, acesta va fi mai mult sau mai puţin stabil în funcţie de stabilitatea legii sale dinamice, ca un alt tip de stabilitate de tip structural decât cea menţionată mai sus. Acest gen de stabilitate structurală, care stă la baza utilizării dinamicilor calitative, a fost introdusă ca noţiune de şcoala sovietică de matematică, în anii '30 ai secolului XX-lea. Conceptul a fost, însă, preluat în Occident de-abia după cel de-al doilea război mondial (Porte, 1994). Un sistem dinamic e structural stabil dacă fiecare sistem învecinat (din punctul de vedere al valorii parametrilor de control) are un comportament calitativ asemănător cu al său (Port şi van Gelder, 1995). Cu alte cuvinte, *stabilitatea structurală a unui sistem* ar însemna o păstrare a comportamentului calitativ (a structurii portretului fază) în cazul unor perturbări relativ mici, produse prin schimbarea valorilor parametrilor de control (Robert şi Roman, 1998; Gheorghiu, 2004). De aceea, pe baza acestui tip de stabilitate, cum se constată din definiţia de mai sus, s-au putut elabora tehnicile calitative care permit studiul apariţiei, persistenţei şi dispariţiei formelor (Porte, 1994). Thom (1988, în Porte, 1994) arată că, în termeni matematici, asemănarea comportamentului calitativ a două dinamici înseamnă că o partiţie a spaţiului fază prin traiectorii care corespunde celei de-a doua dinamici este topologic izomorfă sau homeomorfă cu partiţia corespunzătoare dinamicii iniţiale, adică aspectul global al comportamentului sistemului nu se schimbă. El menţionează că, potrivit demonstraţiei matematicianului Smale, doar pentru sistemele care conţin maximum trei variabile dinamice toate dinamicile sunt structural stabile. Cu alte cuvinte, pentru sistemele cu mai mult de patru variabile dinamice nu e asigurată stabilitatea unei structuri de atractori.

Aşa cum s-a menţionat şi mai sus, există o strânsă legătură între noţiunea de stabilitate şi aceea de perturbaţie. Din cele spuse anterior, se poate deduce că stabilitatea unui atractor, a unei traiectorii sau a unui sistem e dată de intensitatea maximă a unei perturbaţii care nu produce un efect permanent în comportamentul dinamic al sistemului: cu cât această intensitate e mai mică, cu atât stabilitatea va fi mai mare.

În cazul sistemelor complexe, Conrad (1986, în Robert şi Roman, 1998) sugerează că ar exista o legătură între stabilitatea existentă pe

diferitele niveluri de organizare ale acestora, în sensul că instabilitatea de la nivelurile inferioare, sau cea locală, contribuie la stabilitatea la nivel superior, a întregului. Acest lucru implică şi faptul că stabilitatea unui astfel de sistem va depinde de intensitatea legăturii dintre componentele sale, în sensul că stabilitatea relativă la nivel global va fi mai redusă când aceste legături sunt mai slabe. Kelso (2003) foloseşte şi termenul de *metastabilitate* cu referire la dinamica coordonării, ca fiind un regim situat între două stări ideale: interdependenţa completă a componentelor aflate în interacţiune şi totala independenţă reciprocă a acestora. Într-un astfel de regim nu ar exista, propriu-zis, nici atractori, nici repulsori (regiuni repulsoare), rămânând însă un rest de atracţie (sau o atracţie parţială) în zonele unde ar fi putut fi atractorii, care se comportă ca o "fantomă" a unui patern de coordonare potenţial. Explicaţia unui astfel de fenomen ar fi aceea că, dacă diferenţele dintre componente sunt suficient de mari, ele vor avea un grad mai ridicat de autonomie, păstrându-şi încă, totuşi, tendinţa de a coopera cu restul componentelor. Se ajunge astfel la coexistenţa simultană a tendinţelor de integrare (printr-o cooperare laxă) şi de segregare (printr-o autonomie parţială). Bressler şi Kelso (2001) cred că metastabilitatea oferă o explicaţie pentru fenomene în care apare o coordonare relativă, care se caracterizează temporal în termenii "dinamicii intermitenţei": gradul de coordonare (mai intensă sau mai slabă) suferă schimbări neregulate şi spontane în timp. Datorită acestei tendinţe înspre coordonare, fără ca aceasta să devină vreodată deplină, un sistem dinamic complex nu va rămâne blocat într-o anumită stare coordinativă (Bressler şi Kelso, 2001).

În situaţia în care în spaţiul stare al unui sistem dinamic există mai mulţi atractori care coexistă, formând o structură atractoare, se vorbeşte de *multistabilitate* (Heylighen, 1991), adică de sisteme multistabile. De exemplu, când un sistem are doi atractori în spaţiul fază, cum e cazul din Fig. 8, el se numeşte bistabil.

Banaji (2005) arată că ideea de stabilitate are o valoare practică semnificativă pentru că în studiile experimentale cercetătorii se aşteaptă să observe sau observă, în general, comportamentul care este, într-un sens, stabil.

Noţiunea de stabilitate poate fi raportată nu doar la aceea de echilibru, cât şi la aceea de mişcare. În acest context, se diferenţiază între o stabilitate care are sensul de static şi o *stabilitate dinamică*, cum o numeşte van Geert (2007), practic cea de care s-a vorbit până acum, care e la fel de "dinamică" precum e şi mişcarea însăşi.

Cuplare

Van Gelder (1998) defineşte cuplarea ca dependenţă directă a unui parametru de control al unui sistem de starea acelui sistem, ceea ce conduce la formarea unui sistem mai mare. Acest lucru implică includerea acelui parametru ca variabilă dinamică în sistem, fiind vorba de o cuplare cu o variabilă externă. În cazul în care un parametru de control al unui sistem dinamic este o variabilă dinamică în alt sistem dinamic se spune că cele două sisteme dinamice sunt cuplate.

Se poate discuta despre o *cuplare asimetrică* şi despre una *simetrică* (van Gelder, 1998). Când cuplarea e asimetrică, un sistem e conducător şi altul răspunde. În acest caz, numai variabilele dinamice ale sistemului conducător pot juca rolul de parametri de control pentru sistemul de răspuns. Când cuplarea e simetrică, variabilele dinamice ale celor două sisteme cuplate pot juca reciproc rolul de parametri de control pentru celălalt sistem, formându-se astfel un nou sistem, mai mare, un sistem dinamic complex. Procesul de cuplare simetrică implică intrarea într-un regim în care cauza (parametrul de control) şi efectul (comportamentul sistemului) nu dispar, dar ele nu mai pot fi distinse, între ele existând o continuitate spaţială şi temporală. Un exemplu de cuplare simetrică este acela al unui sistem dinamic format din două pendule conectate, care îşi influenţează reciproc frecvenţa de oscilaţie. Baron et al. (1994) evidenţiază faptul că o consecinţă a cuplării sistemelor dinamice într-un sistem dinamic complexe este aceea că ele vor avea mai puţine grade de libertate decât au avut înainte de cuplare. Prin urmare, gradele de libertate ale sistemului complex vor fi mai puţine decât suma gradelor de libertate pe care le-au avut sistemele înainte de cuplare. Scăderea, uneori considerabilă, a gradelor de libertate într-un sistem complex este, după cum se va vedea mai jos, o caracteristică a autoorganizării, a capacităţii unui sistem de a produce proprietăţi emergente (Baron et al., 1994).

Baron et al. (1994) arată că în formarea sistemelor dinamice complexe prin cuplarea unor sisteme dinamice pot să apară două tipuri de tendinţe care vor determina comportamentul sistemului complex. Pe de o parte apar *tendinţe de menţinere*, în care fiecare din sistemele dinamice componente va încerca să îşi menţină propriul comportament, anterior cuplării, determinând *competiţia* între componentele sistemului complex. Pe de altă parte, pot să apară *tendinţe de recrutare*, ceea ce se mai numeşte şi *efectul de magnet*, prin care un sistem dinamic va tinde să preia modul de comportament al unui sistem dinamic cu care este cuplat,

determinând apariția fenomenului *cooperării* la nivelul sistemului complex din care fac parte. Efectul de magnet reprezintă cazul unei *coordonări absolute*. Când cele două comportamente sunt de tip oscilatoriu apare fenomenul *rezonanței*. Când se caută o soluție de compromis între comportamentele sistemelor cuplate se vorbește de o *coordonare relativă*.

Complexitatea

Complexitatea e o noțiune folosită și studiată în contextul multor științe (matematică, filosofie, inginerie, fizică, informatică etc.), dar ea a devenit obiect de studiu principal și pentru un domeniu interdisciplinar, al așa numitelor științe ale complexității.

În contextul specific al TSDN, se pot lua în considerare mai multe surse ale complexității unui sistem: dimensionalitatea sistemului care e dată de numărul componentelor (variabile simple sau subsisteme), diversitatea acestora, numărul, natura și diversitatea interacțiunilor dintre ele, precum și asocierea dintre acești factori (adaptat după Sugihara 1994, în Robert și Roman, 1998). În plus, s-ar putea adăuga numărul parametrilor de control și relațiile acestora cu componentele sistemului.

La prima vedere, complexitatea ar fi o proprietate a sistemelor dinamice complexe, adică acele sisteme dinamice alcătuite din subsisteme dinamice. Dar, așa cum observa Kaneko (1998), pentru a trata complexitatea e important ca, în primul rând, să se facă distincție între complex și complicat. El susține că ceva e complicat dacă e compus din mai multe părți și e nevoie de un efort pentru a-l descompune în ele. Totuși, această descompunere este, în principiu, posibilă. În schimb, când ceva e complex, avem de-a face cu o "situație circulară", pentru că părțile sale nu pot fi înțelese independent de întregul din care fac parte, chiar dacă acest întreg este alcătuit din chiar aceste părți. Prin urmare, părțile și întregul sunt complementare, întregul nefiind decompozabil în părți. De aceea, potrivit unei astfel de viziuni, sistemele dinamice complexe liniare sunt doar complicate, nu și complexe. Dat fiind că ele au proprietatea superpoziției, comportamentul lor poate fi înțeles complet pe baza componentelor care le alcătuiesc. În consecință, complexitatea ar trebui să fie o proprietate doar a sistemelor dinamice complexe neliniare, fiind inerentă acestora.

Se pune însă problema dacă atunci când ne referim la complexitatea unui sistem dinamic se are în vedere alcătuirea sau comportamentul său. După cum s-a văzut mai sus, un sistem dinamic simplu, alcătuit dintr-o singură variabilă, cu o lege dinamică simplă (cum e cazul aplica-

ției logistice discrete) poate prezenta un comportament (cel haotic, vezi Fig. 28) care nu poate fi prezis cu precizie, similar cu acela al unui sistem dinamic complex, alcătuit dintr-un număr extrem de mare de elemente sau care urmează legi dinamice complicate. Pe de altă parte, sisteme dinamice complexe liniare sau neliniare, pentru anumite valori ale parametrilor de control, au comportamente extrem de regulate și simple ca evoluție în timp, fiind ușor predictibile, similare cu cele ale unor sisteme simple ca alcătuire. Se deduce că ceea e important, de fapt, nu este atât numărul componentelor, ci mai degrabă tipul de dinamică neliniară care guvernează schimbarea într-un sistem. Prin urmare, e posibil să se vorbească de complexitate și pentru sisteme dinamice neliniare necuplate sau care au o singură variabilă, dacă se face referire la capacitatea redusă de a prezice cu exactitate comportamentul lor la un moment dat, în ciuda unei regularități care se observă la o scară temporală superioară. Marca complexității comportamentului lor va fi organizarea pe mai multe scale spațiale și temporale a acestuia, ca cea caracteristică structurilor de tip fractal, care pot să apară în spațiul fază al sistemelor dinamice neliniare.

Pe de altă parte, se discută de complexitate și pentru sistemele dinamice complexe neliniare care au comportamente simple. E vorba de acele sisteme complexe care sunt prea simple pentru a fi "reduse la medie" prin instrumentele statisticii (Lucas, 2004b). Astfel de sisteme complexe vor avea ca marcă a complexității structura fractală a alcătuirii lor, prin prezența unor procese și componente la mai multe scale temporale și niveluri de agregare. Acestea vor avea, simultan, o dinamică globală (macroscopică) și una locală, care o generează pe cea globală, dar, în același timp, care e guvernată de aceasta (Baron et al., 1994). De aceea, ele au o proprietate contraintuitivă: vor putea fi caracterizate printr-o ordine globală, conferită de forma regulată a unui atractor haotic sau straniu, de exemplu, dar la nivel local se vor caracteriza prin lipsa ordinii, dată de variația crescută la nivelul componentelor locale și aspectul neregulat al traiectoriilor din regiunea atractoare. În ceea ce privește conectivitate unor astfel de sisteme, în schimb, după cum arată Lucas (2005b), acestea trebuie să aibă asociații slabe între părți (adică o ordine pe domeniu restrâns, locală), dar să fie dezordonate la scară globală (adică să nu existe o conectivitate completă).

Din cele expuse mai sus, se poate înțelege de ce, practic, TSDN a ajuns să se confunde cu ceea ce actualmente se numesc a fi științele complexității. În afară de neliniaritate, se constată că noțiunea de comple-

xitate mai e strâns legată şi de alte concepte ale TSDN, cum sunt haosul, autoorganizarea şi emergenţa, ultimele două fiind specifice TSDN complexe.

Luând ca şi criterii scala temporală a fenomenelor dinamice şi a tipului lor de evoluţie în timp, Lucas (2004b) vede ştiinţele complexităţii ca situându-se între ştiinţa deterministă newtoniană şi ştiinţa statistică/ cuantică. Prima ar studia fenomene dinamice pe termen scurt, caracterizate prin rate de creştere reduse şi constante, ultima fenomene dinamice pe termen lung, puternic haotice, foarte apropiate de cele aleatorii, pe când ştiinţele complexităţii tratează fenomene dinamice pe termen mediu (cum ar fi, de exemplu, studiul turbulenţelor atmosferei sau ale celor din lichide etc.). O părere similară are şi Goertzel (2002), care consideră comportamentele complexe ca nefiind nici pur repetitive, nici complet aleatorii. La fel, Flake (1998, în Holbrooke, 2003) apreciază că un comportament complex nu e nici prea regulat, nici prea neregulat, adică în el ordinea şi haosul se echilibrează. De aceea, există autori, cum sunt Sardar şi Abrams (2002), care văd ştiinţele complexităţii ca fiind acele ştiinţe care studiază sistemele dinamice care se află la ceea ce se va vedea mai jos ca numindu-se "limita haosului". Acestea, în ciuda numărului mare de componente dinamice şi a diversităţii interacţiunilor dintre ele ajung să se autoorganizeze spontan, în loc să se comporte dezordonat, cum ne-am putea aştepta. Prin urmare, pe scurt, ştiinţele complexităţii elaborează teorii asupra modului în care ordinea poate rezulta din interacţiunea a multiple elemente dinamice (Lucas, 2004c). Merită însă a fi amintită observaţia făcută de Robert şi Roman (1998), care arată că nu există încă o teorie bine structurată a sistemelor care prezintă proprietatea complexităţii, ci doar o disciplină care se prefigurează a se constitui la intersecţia filosofiei cu ştiinţele şi mai ales cu matematica, înglobând adeseori şi teoria haosului, a structurilor disipative, a catastrofelor şi sinergetica. În plus, ei fac precizarea importantă că complexitatea dinamică poate fi haotică, dar nu e obligatoriu să fie astfel. Cu alte cuvinte, nu e necesar ca organizarea să se facă în forma unui atractor haotic, ci se poate face, de exemplu, şi în forma unui atractor straniu sau în aceea a itineranţei haotice.

Complexitatea sistemelor dinamice este asociată cu anumite proprietăţi ale acestora în ceea ce priveşte efectele factorilor externi asupra comportamentului lor. Astfel, o caracteristică contraintuitivă a sistemelor care au proprietatea complexităţii este aceea că, în ciuda acesteia, comportamentul lor poate fi schimbat radical în mod brusc, prin simpla variere a unui parametru de control. De exemplu, ele pot trece de

la o deconectare maximă la conectare maximă (sau invers), nu într-un mod gradual, adică punând în legătură, pe rând, elementele lor, ci, simultan, comportamentul elementelor lor devenind brusc coordonat. De aceea, Masulli (1993) consideră că în sistemele complexe schimbările pot fi caracterizate ca stabilire de relații între evenimente care erau independente înainte. În plus, el arată că o schimbare care era doar parțială sau locală este capabilă să se propage în întreg sistemul complex. De exemplu, noi constituenți introduși pot da naștere la transformări care ajung să concureze cu modelul anterior de funcționare. Dacă un nou model de funcționare prevalează, sistemul va dobândi o nouă morfologie. Dar nu e vorba de o substituire abstractă a unui model vechi cu unul nou, de dispariția unuia și de apariția altuia, ci de o transformare a unuia în celălalt, chiar și atunci când ea se produce brusc. Continuitatea schimbării e dată de păstrarea structurii legii dinamice.

Cele de mai sus pot fi ilustrate cu un exemplu de sistem dinamic aflat într-o stare în care el dobândește proprietatea complexității. E vorba de cazul unui lichid care e un sistem dinamic complex alcătuit dintr-un număr extrem de mare molecule care interacționează între ele. Lucas (2005b) arată că perturbarea acestuia prin încălzire duce la un comportament mai haotic (sistemul trecând în stare de gaz, care poate fi studiat cel mai bine cu instrumentele statisticii), iar răcirea sa produce blocarea într-o stare curentă (solidă, care poate fi studiată folosind fizica newtoniană, mecanica solidelor).

Proprietăți ca cele amintite mai sus ale sistemelor caracterizate prin complexitate vor fi prezentate mai pe larg în secțiunea următoare, cea referitoare la autoorganizare.

Studiul complexității are o mare importanță practică, deoarece, așa cum arată Goertzel (2002), modelele matematice prin care s-a încercat studierea proprietăților sistemelor dinamice complexe au stat și stau la baza construirii unor sisteme artificiale care să simuleze comportamentul acestora, cum ar fi automatele celulare, rețelele neuronale, rețelele automate, algoritmii genetici etc. La rândul lor, aceste sisteme artificiale au fost folosite ca modele pentru fenomene naturale complexe cum sunt cele din fizică, biologie (de exemplu, dinamica populațiilor, a răspândirii bolilor, simularea vieții artificiale), în psihologie (pentru simularea comportamentelor inteligente, în cadrul inteligenței artificiale, de exemplu), în sociologie (pentru studiul dinamicilor de grup și al altor fenomene emergente la nivelul unei colectivități).

Autoorganizarea

Foarte pe scurt, Shalizi (2006) consideră că un sistem se autoorganizează dacă lăsat singur, adică fără vreo influență externă, el devine mai organizat. Codreanu (2007) face precizarea importantă că structura care se obține prin autoorganizare nu trebuie să se datoreze vreunei influențe *specifice* din exterior. La fel, Prigogine (citat de Sardar și Abrams, 2002) definește autoorganizarea ca fenomenul conform căruia un sistem își organizează structura internă independent de cauzele externe, la care adăugă cerința ca acest sistem să prezinte proprietăți caracteristice haosului ca neliniaritatea, feedback-ul, structurile fractale, sensibilitatea la condițiile inițiale. El explică această cerință bazându-se pe concepția sa că autoorganizarea poate să apară când un sistem dezechilibrat intră într-o perioadă de comportament haotic.

Pe scurt spus, un sistem se autoorganizează în sensul în care organizarea sa este o consecință a propriei sale dinamici (van Geert, 2008). Autoorganizarea este strâns legată de neliniaritate tocmai pentru că este un efect al acesteia, așa explicându-se și de ce, de cele mai multe ori, are o apariție bruscă, fără schimbări sesizabile ale factorilor cauzali implicați (van Geert și Steenbeek, 2008).

Potrivit lui Meiss (2003), autoorganizarea înseamnă apariția unor corelații în timp și spațiu, adică paternuri în comportament, pentru componente anterior independente ale unui sistem complex, care operau înainte după reguli locale. Acest fenomen, după cum s-a văzut și mai sus, este caracteristic sistemelor dinamice care au complexitate. Paternurile de comportament care apar sunt asimilate de Boutot (1997) structurilor disipative, despre care se va vorbi mai jos, ca forme spațiale sau temporale. Emergența lor înseamnă, în interpretarea lui Heylighen (1991), o pierdere de informație, pentru că submulțimea spațiului care va fi vizitată în cursul evoluției temporale a sistemului se restrânge în timp, ceea ce înseamnă că vom avea nevoie de mai puțină informație pentru a specifica starea sistemului, un fenomen caracteristic organizării. În cazul în care sistemul evoluează înspre o unică stare constantă (un atractor de tip punct fix), nu va mai fi nevoie de nici o informație suplimentară pentru a specifica starea sistemului.

O precizare suplimentară o face Abraham (1998), care definește autoorganizarea ca o proprietate a sistemelor complexe de a-și da un astfel de feedback încât să-și poată determina propriile schimbări ale legii lor dinamice, propriile transformări. Acest lucru înseamnă că parametrii

de control ai sistemului sunt influențați de starea sistemului însuși (Abraham, 1996). Abraham (1996) leagă ideea de autoorganizare de cea de autocontrol. În concepția sa, autocontrolul poate fi de două tipuri: direct sau mediat. Cel mediat se realizează prin intermediul unei rețele de scheme dinamice și apare numai în cadrul unui sistem dinamic complex. Această formă de autocontrol ar depăși, potrivit viziunii sale, noțiunea obișnuită de feedback (care există implicit în ideea interacțiunii dintre variabilele dinamice), presupunând în plus față de aceasta și reorganizarea sistemului, ceea ce înseamnă, de fapt, autoorganizare.

Camazine (2002) plasează sursa autoorganizării la nivelul dinamicii interacțiunilor locale din cadrul unui sistem dinamic complex. De aceea, el definește sistemele care se autoorganizează ca sisteme în care structura de la nivel global apare (emerge) doar din interacțiunile componentelor sistemului de la nivel local, inferior, fără intervenția vreunei forțe exterioare care să influențeze, să controleze, să direcționeze procesul la nivel global. De aceea, van Geert (2008) consideră că autoorganizarea este o formă particulară de emergență. Interacțiunile de la nivel local vor fi executate după reguli care folosesc doar informație locală, fără să se facă referire la paternul global. O condiție adițională e formulată de Heath (2000), pentru care autoorganizarea e posibilă doar atunci când un sistem prezintă mai multe stări stabile (fiecare cu o organizare specifică în spațiu și timp). Cu alte cuvinte, ar fi nevoie de mai mulți atractori sau structuri atractoare, care se pot schimba în funcție de modificarea anumitor parametri ai sistemului și nu în mod necesar prin inputuri externe. În ceea ce privește conectivitatea în sistemele dinamice complexe, o condiție pentru apariția autoorganizării ar fi aceea de a nu fi nici prea lejeră (astfel încât majoritatea unităților să fie independente), nici prea strânsă (astfel încât fiecare unitate a sistemului complex să o afecteze pe cealaltă), ceea ce reprezintă și o condiție pentru complexitate, așa cum s-a văzut și mai sus.

Raportând noțiunea de autoorganizare la aceea de transmisie (de informație sau a unei structuri, de exemplu), van Geert și Steenbeek (2008) constată că ele sunt opuse, în sensul că prin simpla transmisie întotdeauna se pierde informație în mod natural (datorită creșterii entropiei), în vreme ce autoorganizarea implică o creștere spontană a ordinii și structurii. Acest lucru face ca și în cazul unei transmisii de informație (cum ar fi procesul de predare la clasă) să se poată observa nu o pierdere de informație la nivelul destinatarului (cum s-ar întâmpla dacă

ar exista doar transmisia), ci că structurile informaționale formate la nivelul acestuia sunt chiar mai complexe și mai complete decât cele transmise, datorită efectelor autoorganizării (adică ceea ce știu elevii să depășească cu mult conținutul predat), după cum observă van Geert și Steenbeek (2008).

Meiss (2003) propune o sinteză a proprietăților pe care le are un sistem care se autoorganizează, printre ele fiind incluse și unele care au fost menționate mai sus. Acestea ar fi următoarele: operarea dinamică, absența unui control centralizat, apariția ordinii globale din interacțiuni locale, existența fluctuațiilor (care permit căutarea printre opțiuni), existența unor stări de echilibru multiple, apariția fenomenului criticalității (adică a efectelor de prag la schimbarea fazei, vezi secțiunile următoare), redundanța (adică insensibilitatea la distrugerea unei părți a sistemului), autorepararea, flexibilitatea, adaptabilitatea (stabilitatea la variațiile externe) și ierarhia nivelurilor de organizare. Ele pot fi suplimentate cu cele menționate de Sardar și Abrams (2002), care se referă la sistemele care se autoorganizează ca sisteme disipative, considerând și că ele trebuie să fie deschise, pentru ca prin fluxul de energie exterior să poată crea și menține o structură în condiții de dezechilibru. Susținând același lucru, Tschacher et al. (2003) motivează necesitatea deschiderii unor astfel de sisteme prin dependența lor de gradienții energetici (cuantificați prin parametri de control). După cum remarcă autorii mai sus citați, un alt atribut esențial al autoorganizării se poate ilustra cu ajutorul sistemului Bénard, adică un sistem dinamic format de un lichid pentru care există o diferență de temperatură între partea sa inferioară și cea superioară. La o anumită astfel de diferență, în lichid apare o structură organizată, regulată, sub forma unor celulele de convecție, prin coordonarea mișcărilor moleculelor lichidului. Se arată de către autorii menționați anterior că aceste paternuri ordonate care apar în lichid furnizează mijloace calitativ diferite de a disipa căldura primită din partea inferioară (adică de a reduce gradientul sau de a egaliza temperatura pe cele două părți), convecția fiind o cale mai eficientă de a disipa căldura, decât simpla difuzie a acesteia într-un sistem dezordonat. Deși autoorganizarea pare a fi produsă în acest caz de către un factor extern (diferența de temperatură), el este, de fapt, un parametru de control al sistemului. După cum s-a văzut și mai sus, e vorba, în plus, și de o cauzalitate circulară. Autoorganizarea va exercita, la rândul ei, o influență asupra mediului, scăzând, în cazul acesta, diferența de temperatură, iar mediul va trebui să reacționeze pentru a menți-

ne valoarea diferenței, adică valoarea parametrului de control. Tschacher et al. (2003) evidențiază, astfel, existența unui impact al parametrilor de ordine asupra parametrilor de control care au condus la emergența parametrilor de ordine. Se discută, în această situație, de a unui al doilea tip de cauzalitate circulară decât cea care apare între parametrii de ordine și componentele sistemului, caracteristică sistemelor deschise care evoluează, se dezvoltă, pe baza gradienților (cuantificați prin parametri de control). Van Geert și Steenbeek (2008) specifică și ei faptul că în sistemele complexe, creșterea spontană a ordinii macroscopice este o consecință a unui consum energetic de ordin redus.

Guerin și Kunkle (2004) propun o perspectivă particulară asupra autoorganizării, concepând-o ca un efect al apariției unor constrângeri care evoluează și se autoîntăresc. Constrângerile interne (pierderea de grade de libertate) vor fi întărite prin condițiile de graniță (adică parametrii de control) care împing sistemul departe de echilibru.

Printre paternurile comportamentale care pot să apară prin autoorganizare la nivelul unui sistem complex și care au o importanță aplicativă deosebită este acela în care un dezechilibru, o perturbare într-o parte a sistemului, se propagă în mod organizat în alte părți ale sistemului, numit și *fenomenul de undă* (Scales și Snieder, 1999). Un caz aparte al acestui fenomen este acela al așa numitului *soliton*, adică o undă solitară, care poate să apară în sistemele dinamice neliniare, manifestându-și neliniaritatea prin faptul că se autoîntărește, menținându-și forma. Ea e un tip de undă care, așa cum e descrisă de Carpenter (2003), e foarte rezistentă, păstrându-și energia și structura când se deplasează pe distanțe relativ mari sau chiar și după ce intră în coliziune cu alți solitoni. De aceea, această autoare o plasează la limita dintre undele obișnuite, disipative, liniare și cele complet haotice. Ea dă ca exemplu de fenomen natural care poate fi modelat ca un soliton pe acela al descărcării neuronale, adică al transmisiei potențialului de acțiune de-a lungul membranei neuronale. Se constată că undele și, în particular, solitonii, pot fi considerate niște forme dinamice, astfel că prin autoorganizare nu se înțelege doar apariția unor modele "statice" de comportament la nivel global, ci și a unora dinamice. La fel ca și modelele "statice" de tip vârtej, cele dinamice, cum sunt solitonii, par a fi obiecte izolate, pentru că pot fi localizate, dar, în același timp, originea lor nu poate fi localizată, pentru că ea se află la nivelul dinamicii întregului sistem.

Un exemplu foarte simplu şi comun al unui sistem complex care se autoorganizează este acela al unui număr mare de spectatori care aplaudă la sfârşitul unui spectacol. E un fenomen obişnuit ca, după o fază iniţială în care aplauzele sunt necoordonate, să vină o fază de coordonare, în care toţi cei prezenţi aplaudă ritmic, fără ca cineva anume să iniţieze acest patern sau să-l conducă, impunând ritmul. Din aplauzele fiecărui individ emerge la nivel global un model similar unui atractor ciclic, care apoi impune la nivelul individului paternul său. E ca şi cum spectatorii, fiecare reprezentând un sistem dinamic oscilatoriu, se cuplează, ajungând, astfel, să oscileze în fază. Camazine (2002) oferă şi alte exemple de fenomene naturale care s-ar datora auoorganizării: firele de nisip care dau naştere dunelor, formarea cochiliilor, a fagurilor de miere etc. Procesul de auto-organizare a fost simulat şi prin intermediul unor sisteme artificiale, cel mai cunoscut fiind acela al automatului celular numit "Jocul vieţii" (Heath, 2000). În toate aceste exemple se poate constata că e vorba de sisteme alcătuite dintr-un număr mare de elemente, care se află în interacţiune, adică de sisteme dinamice complexe, ilustrându-se astfel strânsa legătură dintre complexitate şi autoorganizare, amintită şi în secţiunea anterioară.

Parametrul de ordine

Aşa cum s-a menţionat mai sus, autoorganizarea la nivelul sistemelor complexe înseamnă o reducere a gradelor de libertate, ceea ce implică o reducere şi a informaţiei necesare pentru a specifica starea sistemului. Rolul conceptului de parametru de ordine este tocmai acela de a exprima ideea că proprietăţile macroscopice care definesc starea sistemelor complexe cu un număr mare de elemente sunt determinate de un număr mai mic de variabile decât numărul variabilelor sistemului. Adică, aşa cum subliniază Whitall şi Getchell (1995), parametrii de ordine indică reducerea gradelor de libertate într-un sistem dinamic complex. De aceea, ei sunt definiţi ca noi variabile dinamice, reprezentând parametri globali, macroscopici, care descriu starea unui astfel de sistem (Nowak şi Lewenstein, 1994). Originea lor se află în autoorganizarea sistemelor complexe, descriind ordinea macroscopică care guvernează ordinea de la nivelele inferioare de organizare (Haken, 1995b). Parametrii de ordine se mai numesc şi *variabile colective* (Scholz, 1990, în Woollacott şi Jensen, 1996), pentru că reflectă caracteristicile esenţiale ale modului de schimbare a stărilor unui sistem dinamic complex, apariţia stărilor atractoare în evoluţia sa. Scholz (1990, în Woollacott şi Jensen, 1996) arată că prin

intermediul lor trebuie să fie posibilă surprinderea schimbărilor calitative în modelul comportamentului în timp al sistemului: atunci când modelul comportamental e stabil, şi valorile parametrilor de ordine trebuie să rămână stabile, iar când modelul se schimbă, valorile lor trebuie să se schimbe şi ele. Prin urmare, cu ajutorul parametrilor de ordine se poate monitoriza comportamentul unui sistem dinamic complex. Ei sunt văzuţi de Heylighen (1991) şi ca măsuri cantitative ale gradului de coordonare, coerenţă, cooperativitate între componentele care se află în interacţiune în cadrul unui sistem complex.

Dar un parametru de ordine nu are doar un rol descriptiv, sumativ, nu e numai determinat de variabilele dinamice ale sistemului complex, de componentele sale locale. Pentru că el reprezintă o dinamică globală care guvernează dinamicile locale, aceasta va influenţa la rândul său dinamica componentelor locale, ca o nouă variabilă dinamică, care joacă simultan şi rolul de parametru de control, ca şi cum sistemul s-ar cupla cu el însuşi. Aşa numitul principiu al *înrobirii* (în engleză, "*enslaving principle*") se referă tocmai la această determinare a comportamentului componentelor locale de către un parametru de ordine. Se remarcă faptul că relaţia dintre acestea şi un parametru de ordine este una care implică o cauzalitate circulară.

În practică, pentru sisteme dinamice complexe concrete, de multe ori, este dificil să se identifice care parametri de ordine ar fi adecvaţi pentru a descrie starea unui sistem. De exemplu, pentru un sistem dinamic complex cum este cel al unui gaz, se recunosc ca parametri de ordine densitatea sau temperatura sa, iar pentru cel al unui lichid, temperatura sau vâscozitatea. Pentru sisteme complexe formate, de exemplu, din doar două mişcări oscilatorii se poate defini ca parametru de ordine diferenţa de fază dintre cele două oscilaţii. Ilustrative pentru această situaţie ar fi cazul a două pendule cuplate sau cel al mişcării oscilatorii cuplate a degetelor indicatoare ale fiecărei mâini, cum se întâmplă în studiul realizat de Schöner şi Kelso (1988, în Metzger, 1997).

Tsuda (2001) consideră că pentru a descrie comportamentul unor sisteme dinamice complexe haotice nu ar fi suficientă noţiunea de parametru de ordine şi, de aceea, ar fi de preferat aceea de *macrovariabilă*, pentru a defini comportamentul macroscopic observat ca o mişcare colectivă. În concepţia autorului citat, faţă de parametrii de ordine, macrovariabilele nu se pot comporta ca funcţii simple (constante) sau periodice în timp şi spaţiu. Când sistemul se află într-o stare de echilibru, parametrul

de ordine e constant, dar atunci când e în apropierea echilibrului, evoluția sa poate fi descrisă printr-o ecuație de evoluție. Tsuda (2001) propune să se folosească o ecuație de evoluție similară pentru a descrie comportamentul la nivel macroscopic al sistemului și în cazul în care acesta are o mișcare ordonată când e departe de echilibru sau atunci când există mai mulți parametri de ordine. Așa cum s-a văzut și mai sus, o stare ordonată ar fi o stare emergentă a sistemului, care este definită printr-un număr mai mic de grade de libertate decât numărul de grade de libertate pe care îl are sistemul (Tsuda, 2001). Gradele de libertate prin care se poate descrie o astfel de stare ordonată sunt numite de Tsuda (2001) ca fiind macrovariabile, ca o generalizare a noțiunii de parametru de ordine pentru tranzițiile și schimbările calitative ale comportamentului dinamic care apar în stări departe de echilibru, când e vorba de o dinamică haotică. Potrivit autorului citat, în cazul sistemelor pentru care se poate folosi noțiunea de parametru de ordine, descrierea acestora este posibil să se facă doar pe baza dinamicii mișcării lente, guvernată de modul de schimbare a parametrilor de ordine, eliminându-se dinamica schimbării rapide, guvernată de variabilele dinamice. În schimb, pentru sistemele dinamice haotice, acest lucru nu este realizabil, nefiind o graniță clară care să distingă între un comportament la frecvențe scăzute, față de cel de la frecvențe ridicate, spectrul frecvențelor fiind continuu. Prin urmare, Tsuda (2001) crede că e necesară introducerea conceptului de macrovariabilă. Un caz mai special ar fi acela al itineranței haotice, în care ar fi posibilă o mișcare lentă care are loc în jurul ruinelor de atractori și una rapidă, de tranziție între astfel de ruine.

Emergența, proprietate emergentă

După cum se poate deduce din ultimele secțiuni, emergența e o noțiune care se definește în strânsă legătură cu cele de neliniaritate, complexitate, autoorganizare și cu cea de parametru de ordine. Ea se referă la o situație care apare în sistemele complexe care au mai multe niveluri de organizare, astfel încât tipuri de descriere diferite calitativ sunt adecvate pentru fiecare nivel (Damper, 2000). Camazine (2002) consideră emergența ca un proces prin care un sistem de elemente care interacționează dobândește o structură nouă calitativ, care nu poate fi înțeleasă pur și simplu ca suprapunere a contribuțiilor individuale, ceea ce înseamnă că ea este un fenomen specific sistemelor neliniare. Prin emergență apar noi trăsături, pentru descrierea cărora e nevoie de un nou vocabular

(Meiss, 2003). Kampis (1991) evidențiază faptul că emergența presupune o decuplare a scalelor de timp locale și globale, adică o dihotomie local/ global la nivel temporal.

Pentru Tschacher et al. (2003), paternurile formate în sistemele dinamice complexe sunt emergente pentru că ele nu sunt determinate exclusiv nici de componentele sistemului dinamic, nici de gradienții exteriori, nici doar de constrângerile din mediu, acesta fiind și motivul pentru care emergența este o consecință a autoorganizării.

O *proprietate emergentă* este o proprietate care apare din interacțiunea entităților de nivel inferior, datorită dinamicii lor colective, care nu se regăsește la aceste entități și nu poate fi prezisă (dedusă direct, explicată) din cunoașterea proprietăților acestor entități de nivel scăzut (Shalizi, 2006). Într-un sistem dinamic complex care se autoorganizează este posibil să apară o ierarhie de proprietăți emergente, pe diverse niveluri de organizare (Meiss, 2003). Parametrii de ordine pot fi aleși din rândul acestor proprietăți emergente.

Sinergetica

Sinergetica poate fi considerată o știință interdisciplinară, ca variantă europeană de sorginte germană a ceea ce în SUA se cheamă științele complexității. După cum se va putea constata în cele ce urmează, între ele există un mare grad de suprapunere, dar și accente particulare și unele deosebiri terminologice. Inițiatorul sinergeticii este un fizician german, Herman Haken, care în jurul anilor '70 ai secolului trecut și-a extins preocupările, căutând aplicații ale studiului sistemelor dinamice complexe deschise care se autoorganizează în alte domenii decât fizica. De aceea, Haken (2004, 1988) consideră sinergetica ca o știință care abordează principiile de bază, universale, independente de natura unui sistem, ale autoorganizării în toate acele domenii în care structuri spațiale, temporale sau funcționale se formează în mod spontan la scală macroscopică, printre acestea numărându-se fizica, chimia, biologia, științele cognitive, sociologia, tehnologia etc. Foarte pe scurt spus, sinergetica este știința formării paternurilor. Haken (1995a) atrage atenția că în cadrul sinergeticii se pune un accent deosebit pe legarea abordărilor teoretice de rezultatele experimentale.

Haken (2004) arată că una dintre principalele strategii folosite în cadrul sinergeticii este aceea a studiului modului în care se comportă sistemele atunci când se află în apropierea a ceea ce el numește puncte de

instabilitate. Acestea sunt puncte în care are loc o schimbare calitativă în dinamica sistemelor, apărând un fenomen caracteristic, de reducere a dimensionalității. În acest mod, comportamentul sistemului va ajunge să nu mai fie guvernat de dinamica variabilelor dinamice, ci de dinamica unui număr redus de parametri de ordine care emerg. Aceşti parametri de ordine sunt simultan determinaţi şi determină comportamentul părţilor, aşa cum s-a menţionat şi mai sus, apărând astfel o cauzalitate circulară între nivelurile de organizare a sistemului (Haken, 1995a). Relaţiile părţilor componente cu parametrii de ordine este guvernată de principiul *înrobirii* (în engleză, "*enslaving*") subsistemelor, caracteristic sinergeticii. Haken (1988) susţine că prin acest principiu se pot elimina din studiu subsistemele înrobite, astfel încât, în cele din urmă, rămân doar ecuaţiile parametrilor de ordine, ceea ce implică o scădere importantă a gradelor de libertate relevante în vecinătatea punctului critic. Haken (1995a) distinge între sisteme parţial ordonate, care au mai mulţi parametri de ordine şi cele complet ordonate, în care există un singur parametru de ordine, cel mai puternic, care a câştigat competiţia cu ceilalţi, forţând sistemul să adopte comportamentul care îl caracterizează (adică înrobindu-l), după ce iniţial s-a încercat un compromis.

Un exemplu (care va fi tratat mai pe larg în secţiunile viitoare ale lucrării) al aplicării principiilor sinergetice este acela din domeniul ştiinţelor cognitive prin care s-a încercat explicarea percepţiei figurilor ambigue, mai precis tranziţia de la o organizare perceptuală la alta (Haken, 1995a). Această tranziţie e interpretată ca un proces de schimbare calitativă a dinamicii perceptuale, care include printre posibilii parametri de control anumite caracteristici ale stimulilor perceptuali şi nivelul atenţiei acordate acestor caracteristici. Sensul dat stimulului perceptual ar juca rolul unui parametru de ordine. În cazul figurilor (stimulilor) ambigue(i) ar exista doi astfel de parametri de ordine, câte unul pentru fiecare dintre cele două interpretări posibile ale acestora.

Sisteme conservative, sisteme disipative, structuri disipative

Sistemele disipative sunt acele sisteme care, pe măsură ce evoluează, vizitează o regiune mai restrânsă decât aceea a spaţiului stare care le era accesibil iniţial, ceea ce ar echivala cu evoluţia către un atractor (Doerner, 2005). *Sistemele conservative* (*hamiltoniene*) ar fi acele sisteme dinamice care nu evoluează înspre un atractor, adică nu restrâng în timp zona pe care o pot vizita (Doerner, 2005). Cu alte cuvinte, după cum formulează Codreanu (2007), un sistem este conservativ pentru că

conservă volumele din spațiul fazelor sistemului. Dacă sistemul nu conservă volumele și orice schimbare de variabile nu poate modifica acest lucru, sistemul va fi neconservativ. Dacă în sistemul neconservativ volumul se contractă, sistemul se va numi disipativ (Codreanu, 2007).

Sistemele disipative sunt în mod necesar sisteme deschise, menținute departe de echilibru printr-un influx de substanță și energie, în care va apărea o structură ordonată când acel influx atinge un prag critic (Codreanu, 2007). Acest lucru nu înseamnă însă că, în continuare, prin creșterea acestui influx, comportamentul sistemului va fi din ce în ce mai ordonat și mai stabil, existând posibilitatea ca astfel de comportamente ordonate, regulate, să alterneze cu stări și comportamente haotice (Codreanu, 2007). Barham (1996) menționează că o stare stabilă departe de echilibrul termodinamic va apărea doar atunci când viteza creșterii influxului este mai mare decât viteza relaxării termice. Potrivit autorului citat, în astfel de sisteme e de așteptat să apară comportamente ciclice coerente la nivel global, pentru că crearea de astfel de structuri macroscopice va disipa energia mai rapid decât poate să o facă simpla relaxare termică (numindu-se, de aceea, sisteme disipative).

Sistemele oscilatorii disipative se disting de cele conservative prin efectul pe care o perturbație care mărește amplitudinea oscilației îl are asupra comportamentului lor. Sistemele conservative vor continua oscilația cu perioada mărită, dar cele disipative vor reveni, după un timp, la oscilația inițială, prezentând o stabilitate asimptotică (Codreanu, 2007)

Distincția dintre cele două tipuri de sisteme este importantă mai ales pentru că studiul teoretic al comportamentului haotic, care apare deopotrivă în amândouă, diferă în cazul sistemelor disipative față de cel al sistemelor conservative (Codreanu, 2007).

În linii mari, *structurile disipative* pot fi definite ca structuri care se formează prin autoorganizare în sistemele dinamice complexe disipative, atunci când acestea se află departe de echilibru. De aceea, teoria care le studiază, adică *teoria structurilor disipative*, ar fi un alt corespondent european al științelor complexității. Inițiatorul ei a fost Ilya Prigogine, un fizician și chimist belgian de origine rusă. El a pus bazele acestei teorii cam în același timp cu Herman Haken, abordând problema sistemelor complexe care se autoorganizează din perspectiva termodinamicii, cu o terminologie specifică acesteia și, de aceea, a mai fost numită și *termodinamica autoorganizării*. În formularea lui Boutot (1997), teoria structurilor disipative abordează procesele de cooperare, adică fenomenele

de autoorganizare, care implică apariția spontană a structurilor disipative ca forme spațiale sau temporale în cadrul unui sistem alcătuit dintr-un număr mare de entități și care e supus unor constrângeri externe speciale. Tot el realizează și o prezentare foarte succintă a teoriei mai sus amintite, care include punctele ei esențiale. Conform acestuia, din al doilea principiu al termodinamicii s-ar deduce că ordinea nu poate să apară într-un sistem care evoluează în vecinătatea echilibrului termodinamic, ci doar atunci când el se află departe de acest echilibru. Pentru ca acest lucru să se întâmple este însă nevoie să fie satisfăcute câteva condiții suplimentare. Prima ar fi aceea că sistemul trebuie să fie deschis (schimbând materie și/sau energie cu mediul), astfel încât să poată să se îndepărteze de la starea de echilibru termodinamic. În plus, schimburile cu mediul trebuie să fie astfel încât entropia negativă din exterior să poată compensa creșterea internă a entropiei (condiția staționarității, pentru menținerea stabilității unei stări ordonate). A doua condiție ar fi aceea a menținerii sistemului departe de echilibrul termodinamic prin constrângeri externe constante, care vor permite păstrarea ordinii obținute.

În continuare se vor prezenta, mai pe larg, câteva din temele importante ale teoriei structurilor disipative.

Un accent deosebit în cadrul acestei teorii este pus pe relațiile dintre ordine și dezordine, propunându-se o nouă abordare a acestora, care se bazează pe importanța pe care o are menținerea unui sistem departe de echilibru. Prigogine și Stangers (1988/1997) subliniază că, în structurile disipative, ordinea nu se mai opune dezordinii, ele devenind indisociabile. Discutând problema ordinii și dezordinii, cei doi autori arată că, în viziunea lor, turbulența nu mai e un exemplu de dezordine, precum nici acela al unui cristal un exemplu de ordine. Regimul turbulent e apreciat ca ordonat în baza argumentului că mișcările a două molecule separate prin distanțe macroscopice se dovedesc corelate, în vreme ce atomii dintr-un cristal vibrează în jurul poziției lor de echilibru în mod incoerent, necorelat. Consider că în cele două exemple se pune, de fapt, problema raportului dintre ordinea spațială și cea temporală. În primul caz ar fi vorba mai mult de o ordine temporală, în al doilea de o ordine spațială, între cele două existând o disociere. Potrivit lui Prigogine și Stangers (1988/1997), departe de echilibrul termodinamic, noile stări ale materiei se caracterizează prin apariția corelațiilor la scară mare, ca modalități de autoorganizare. Astfel de corelații se definesc relativ la regimul dinamic al unui sistem, precizând relațiile parte-întreg care caracterizează un

anumit regim, partea fiind dată în teoria lor de distanța și intensitatea efectului unei schimbări locale. Corelațiile se traduc prin coerență. De exemplu, într-un vârtej, moleculele nu mai pot fi privite ca fiind unități independente, ci formează un întreg coerent. Boutot (1997) arată că un astfel de întreg se comportă că și cum ar fi sediul unor forțe "capabile să inducă ordine la distanță", fiecare componentă părând să fie "informată" asupra stării sistemului. În schimb, în starea de echilibru termodinamic, nu apar astfel de coerențe, fiecare componentă a sistemului fiind independentă.

În legătură cu cele discutate mai sus poate fi pusă și o remarcă făcută de Boutot (1997) cu privire la stabilitatea structurilor disipative în comparație cu cea a structurilor de echilibru. Potrivit acesteia, structurile de echilibru, odată create, nu au nevoie să primească energie din exterior pentru a se menține (cum e cazul cristalelor). În schimb, structurile disipative (cum e cazul vârtejurilor), care sunt formate și stabilizate de către fluxul de materie și energie pe care sistemul în care apar îl schimbă cu mediul, se mențin doar atât timp cât acesta este traversat de un astfel de flux, care îl îndepărtează de echilibrul termodinamic (Boutot, 1997). De fapt, în interpretarea lui Boutot (1997), structura disipativă ar putea fi considerată ca fiind "o uriașă fluctuație", ca efect al unui flux de materie și energie, care în loc să se atenueze, așa cum se întâmplă cu toate perturbațiile care apar când sistemul se află în vecinătatea punctului de echilibru termodinamic, pune stăpânire pe comportamentul întregului sistem. Astfel, o deviație la nivel local poate conduce la alegerea privilegită a unui anumit comportament la nivel global din mai multe astfel de comportamente care, înainte de producerea acelei deviații, aveau aceeași probabilitate de apariție. După cum s-a amintit și mai sus, potrivit lui Tschacher et al. (2003), paternurile ordonate apărute în sistemele disipative furnizează mijloace calitativ diferite de a disipa energia primită, adică de a reduce un gradient care le controlează evoluția.

O nouă ordine macroscopică, evidențiază Prigogine și Stangers (1988/1987), nu se datorează apariției unor noi interacțiuni la nivel elementar, ci activității coerente a elementelor sistemului, între care se păstrează interacțiunile existente, în condițiile în care o constrângerea exterioară menține sistemul la distanță față de starea de echilibru. În absența acesteia, el ar evolua către echilibru. În apropierea echilibrului, sub pragul de instabilitate, constrângerea exterioară ar determina complet comportamentul sistemului. În schimb, când sistemul se află dincolo de

pragul de instabilitate, departe de echilibru, ea nu va mai determina în mod complet comportamentul sistemului, fiind doar "un punct de pornire pentru organizarea sistemului" (Prigogine şi Stangers, 1988/1987). Cum se va vedea şi mai jos, pragul de instabilitate reprezintă, de fapt, un punct de bifurcaţie. În acest punct, comportamentul actual al sistemului devine instabil structural, el putând evolua către mai multe regimuri de funcţionare stabile, fără însă să existe posibilitatea determinării cu precizie a regimului care va apărea în final. Această instabilitatea dinamică implică, pentru Prigogine şi Stangers (1988/1987), limitarea noţiunii de traiectorie. Argumentul lor ar fi acela că posibilitatea de a determina doar cu o precizie finită starea sistemelor suficient de instabile face ca, dincolo de un anumit timp de evoluţie, să nu li se mai poată atribui nici o traiectorie clar definită, comportamentul lor permiţând doar descrierea în termeni de probabilităţi. De aceea, Prigogine şi Stangers (1988/1987) consideră că numai la echilibru un sistem este manipulabil, pentru că este stabil, dar departe de echilibru el dobândeşte autonomie, fiind relevante noi concepte cum sunt cele de instabilitate, sensibilitate, bifurcaţie.

O altă temă centrală a teoriei structurilor disipative este aceea a timpului ireversibil. În concepţia lui Prigogine şi Stangers (1988/1987), un sistem aflat departe de echilibru nu are numai un grad mai ridicat de autonomie, ci ar avea şi capacitatea de a deveni în timp. Acest lucru înseamnă, în primul rând, potrivit acestor autori, că apare ireversibilitatea în timp, ruperea simetriei dintre "înainte" şi "după". Ei opun determinismul intrinsec reversibil al sistemelor dinamice clasice, care nu distinge între viitor şi trecut, între cauză şi efect (pentru că în efect se conservă cauza), celui ireversibil al termodinamicii, care conduce un sistem termodinamic izolat către starea de echilibru şi de entropie maximă. Determinismul ireversibil ar fi capabil să dea un sens noţiunii de eveniment şi de schimbare, pe când în cazul celui reversibil nu poate avea loc, propriu-zis, un eveniment, atât timp cât o stare produsă prin acesta "ar fi putut" să nu se întâmple, fiind doar realizarea unei posibilităţi care exista dinainte. De aceea, cei doi autori susţin că numai un determinism ireversibil, ca cel care apare în sistemele termodinamice deschise, poate să explice în mod real noutatea, schimbarea, şi nu să dea o pseudoexplicaţie, reducând-o la o aparenţă, negând-o, de fapt, prin interpretarea ei ca "înlănţuire de identici". În plus, numai într-un determinism ireversibil, evenimentele pot dobândi, în anumite condiţii, o semnificaţie, prin generarea de comportamente coerente noi.

Din punct de vedere practic, teoria structurilor disipative şi-a propus găsirea unor căi prin care să poată preciza care dintre sisteme sunt pe cale să-şi piardă echilibrul, devenind instabile şi, prin urmare, susceptibile de a genera structuri ordonate, şi la ce prag şi-l vor pierde (Boutot, 1997). Totuşi, ea nu va putea furniza o predicţie a structurii care va fi generată de sistem. Singura posibilitate de a o cunoaşte va fi doar prin analiza reacţiilor sistemului la diverse perturbaţii externe.

Există şi critici la adresa teoriei structurilor disipative. Printre cele mai importante este aceea formulată de Anderson şi Stein (1987, în Shalizi, 1997), care susţin că această teorie este insuficient dezvoltată, în cadrul ei nefiind încă dovedită existenţa unor structuri disipative stabile. În concepţia lor, structurile disipative cum sunt, de exemplu, vârtejurile care apar în fluide, sunt, de fapt, instabile şi tranzitorii, şi nu stabile, aşa cum sunt considerate în teoria lui Prigogine.

Entropia pentru sisteme situate departe de echilibru

Dat fiind că, aşa cum admit şi Tschacher et al. (2003), în sens clasic, conceptul de entropie a fost definit doar pentru sisteme în echilibru sau foarte aproape de echilibru, utilizarea sa în cazul sistemelor departe de echilibru, care se autoorganizează, a fost şi este controversată. O primă soluţie de compromis a fost aceea de a considera un astfel de sistem deschis care se autoorganizează ca fiind inclus într-un sistem închis, astfel încât legea a doua a termodinamicii şi conceptul clasic de entropie să poată fi în continuare aplicabile. S-a ajuns însă la concluzia că, totuşi, entropia parţială a sistemului deschis ar continua să fie definită în mod necorespunzător (Tschacher et al., 2003). Prin urmare, s-au propus soluţii mai radicale, care presupun o reformulare a termodinamicii (vorbindu-se despre o termodinamică a autoorganizării) sau a legilor termodinamicii.

Un exemplu pentru cea de-a doua situaţie este oferit de Schneider şi Kay (1994, în Tschacher et al., 2003), care sugerează o nouă formă pentru cea de-a doua lege a termodinamicii, valabilă pentru sistemele aflate în dezechilibru prin aplicarea unor gradienţi. Aceasta statuează că un sistem va utiliza orice cale disponibilă pentru a neutraliza gradienţii care acţionează asupra sa, astfel încât, pe măsură ce gradienţii cresc, "la fel va creşte şi abilitatea sistemului de a se opune unei îndepărtări şi mai mari de la starea de echilibru" (Schneider şi Kay 1994, în Tschacher et al., 2003). O astfel de formulare ar avea drept consecinţă faptul că sistemele care se autoorganizează nu respectă principiul producerii maxime de

entropie, aşa cum au presupus Nicolis şi Prigogine (1977, în Tschacher et al., 2003). După cum remarcă Tschacher et al. (2003), reducerea unui gradient ar fi doar virtuală, dacă mediul este un sistem deschis, pentru că, în acest caz, el va fi menţinut de mediu (energia necesară pentru aceasta crescând însă, pe măsură ce sistemul devine mai organizat).

Bifurcaţia, punct de bifurcaţie

Foarte pe scurt, bifurcaţia, în sensul ei cel mai general, poate fi definită ca fiind orice schimbare în ceea ce priveşte numărul, forma, mărimea, stabilitatea, poziţia, tipul de mulţimi limită din spaţiul stare al unui sistem dinamic (adaptare după Heylighen, 1991). Prin urmare, ea presupune o schimbare a câmpului vectorial şi a portretului fază ale sistemului (Abraham, 1996). Pentru ca să fie vorba de bifurcaţie, această schimbare, aşa cum menţionează Abraham (1996), trebuie să fie rezultatul modificării unui parametru de control al sistemului (sau a mai multora) şi nu a vreunei variabile dinamice sau a ecuaţiilor ca atare. Acestea îşi păstrează forma, doar constantele care apar în ele se schimbă.

Pentru cei mai mulţi autori, cum este şi Goldberger (1996), noţiunea de bifurcaţie are un sens mai restrâns, ca reprezentând doar schimbările neliniare bruşte, când o creştere sau descreştere foarte mică în valoarea unui parametru de control, determină nu orice schimbare a legii dinamice, ci una semnificativă. Acest lucru este interpretabil în două modalităţi. Prima ar fi aceea în care între parametrul de control schimbat şi valorile parametrului de ordine sau ale variabilelor dinamice care reprezintă punctele de echilibru (mulţimile limită) din spaţiul stare al sistemului există o relaţie neliniară. În cazul dat, este posibilă apariţia unor discontinuităţi în schimbarea acestor valori odată cu modificarea parametrului de control. A doua modalitate de interpretare ar fi aceea că topologia structurii atractoare a spaţiului stare s-a schimbat. Cel mai restrâns sens al noţiunii de bifurcaţie se referă doar la acest din urmă caz, luând în considerare doar schimbările de dinamică în care se modifică topologia structurii atractoare (adică numai atunci când se schimbă tipul şi numărul mulţimilor limită, dar nu şi mărimea şi poziţia lor).

Termenul de bifurcaţie, care a ajuns să se generalizeze ca însemnând orice modificare a dinamicii, nu ar fi totuşi unul potrivit, pentru că se poate presupune că el făcea referire, iniţial, la un tip special de transformare a structurii atractoare a spaţiului stare, aceea prin care se trece de la un atractor în spaţiul stare la doi atractori. Aşa cum se va vedea

şi mai jos, e posibil însă ca în noua structură a spaţiului stare să apară sau să dispară mai mult de două mulţimi limită şi, atunci, mai potrivit ar fi termenul de *ramificaţie*, propus de Voinea şi Stroe (2000).

Indiferent de definiţia dată bifurcaţiei, pentru că presupune o schimbare a legii dinamice, ea e considerată o schimbare de tip calitativ a sistemului dinamic, reprezentând intrarea sa într-un nou regim dinamic, nefiind doar o simplă schimbare de stare, adică una de tip cantitativ (după Salthe, 1991).

Noţiunea de *punct de bifurcaţie* e strâns legată de cel de-al doilea sens al bifurcaţiei, cel restrâns. El reprezintă acea valoare a unui parametru de control pentru care se produce o bifurcaţie în acest cel de-al doilea sens. Când sistemul se află într-un astfel de punct de bifurcaţie se spune că este instabil din punct de vedere structural, pentru că la cea mai mică schimbare a parametrului de control poate fi împins brusc de o parte sau alta a punctului de bifurcaţie, unde portretele fază sunt radical diferite. Altfel spus, o schimbare cantitativă minoră duce la schimbări majore de natură calitativă. E o situaţie care diferă de aceea a sensibilităţii la condiţiile iniţiale, când o schimbare cantitativă minoră duce la o schimbare majoră, dar tot cantitativă.

Bifurcaţiile, care vor fi considerate în cele de faţă în cel de-al doilea sens, pot fi clasificate după mai multe criterii.

După extensia schimbării care are loc în spaţiul stare, Banaji (2005) distinge două tipuri. *Bifurcaţiile locale* sunt definite de el ca fiind acele schimbări care apar într-o vecinătate limitată din spaţiul fază. De exemplu, un atractor poate să-şi schimbe stabilitatea sau chiar să dispară, dar cu excepţia unei regiuni învecinate acestuia, nu vor exista alte modificări majore ale spaţiului fază. Feltl (1996) arată că situaţiile în care apar astfel de bifurcaţii pot fi interpretate, de multe ori, ca şi coliziuni între atractori şi repulsori. *Bifurcaţiile globale* implică schimbări calitative în structura orbitelor unui sistem dinamic care nu se limitează la o regiune restrânsă din spaţiul fază. Astfel de bifurcaţii ar fi mai greu de studiat şi ar putea fi, de exemplu, caracteristice bifurcaţiilor în care apar atractori haotici (Banaji, 2005).

După tipul de schimbare care are loc, Abraham (1996) le împarte în trei categorii. *Bifurcaţia subtilă* presupune o trecere de la un atractor la altul care nu este sesizabilă decât după ce s-a depăşit punctul de bifurcaţie. *Bifurcaţia catastrofică* se referă la situaţia în care un atractor apare sau dispare brusc. *Bifurcaţia explozivă* este aceea prin care se schimbă, dintr-o dată, extrem de mult mărimea unui atractor.

Se identifică şi tipuri specifice de bifurcaţii după tranziţia particulară care are loc între diverse tipuri de mulţimi limită. Heylighen (1991) prezintă câteva astfel de bifurcaţii. Bifurcarea de *tip furcă* (vezi Fig. 21a) apare atunci când se trece de la un spaţiu stare cu un atractor de tip punct fix la unul cu două puncte fixe, care apoi se îndepărtează gradual unul de altul, prin creşterea parametrului de control. Bifurcaţia de tip furcă poate fi şi ea, la rândul ei de două feluri (Feltl, 1996). Primul este cel al *bifurcaţiei supracritice*, când de la un atractor se ajunge la doi atractori şi un repulsor care îi separă pe aceştia şi care înlocuieşte vechiul atractor. Al doilea este acela al *bifurcaţiei subcritice*, când de la un atractor şi doi repulsori se ajunge la un singur repulsor (ceea ce înseamnă că este o bifurcaţie de tip catastrofic, pentru că vechiul atractor dispare complet). Bifurcarea *de tip şa*, prezentată în Fig. 21b, apare când un punct fix îşi schimbă stabilitatea (ea creşte sau scade) în raport cu stabilitatea altui punct fix, prin varierea parametrului de control. Înainte ca punctul fix originar să îşi piardă stabilitatea apare un nou punct stabil, după care apare bifurcaţia de tip şa inversă, în care punctul fix iniţial îşi pierde stabilitatea şi rămâne stabil doar noul punct fix (Nowak şi Lewenstein, 1994). E vorba în acest caz, de fapt, de o combinaţie de bifurcaţii de tip pliu. În *bifurcaţiile de tip pliu* se pleacă de la existenţa în spaţiul stare a două puncte fixe: unul stabil (atractor) şi altul instabil (repulsor) care, pe măsură ce un parametru de control creşte gradual, se apropie, pentru ca, în final, când parametrul a ajuns în origine, ele să se întâlnească şi să se anihileze reciproc. *Bifurcaţia de tip "Hopf"* apare atunci când trecerea se face între un spaţiu stare cu un punct fix şi unul cu un atractor de tip ciclu limită (cum ar fi de exemplu, oprirea şi începerea ritmurilor biologice). Un alt tip de bifurcaţie este acela în care se trece de la un ciclu limită la două cicluri limită sau de la o orbită periodică simplă la orbite multiperiodice sau cvasiperiodice. Un tip asemănător este acela când prin bifurcaţie are loc o dublare a perioadei atractorului ciclic iniţial. Există şi bifurcaţii prin care se trece de la un atractor toroidal la altul de acelaşi tip. O bifurcaţie mai specială ar fi aceea *transcritică*, prezentată în Fig. 21c, când în spaţiul stare există iniţial un atractor şi un repulsor, pentru ca, după trecerea prin punctul de bifurcaţie, cele două mulţimi limită să-şi schimbe rolurile, cea atractoare devenind repulsoare şi invers (după Feltl, 1996). Un alt tip de bifurcaţie, care a avut numeroase aplicaţii practice, şi anume *hysteresis-ul*, va fi prezentat pe larg într-o secţiune viitoare. Pentru atractorii haotici, o importanţă specială o are bifurcaţia de tip global numită *criză*, şi ea urmând a fi tratată mai pe larg într-o secţiune separată.

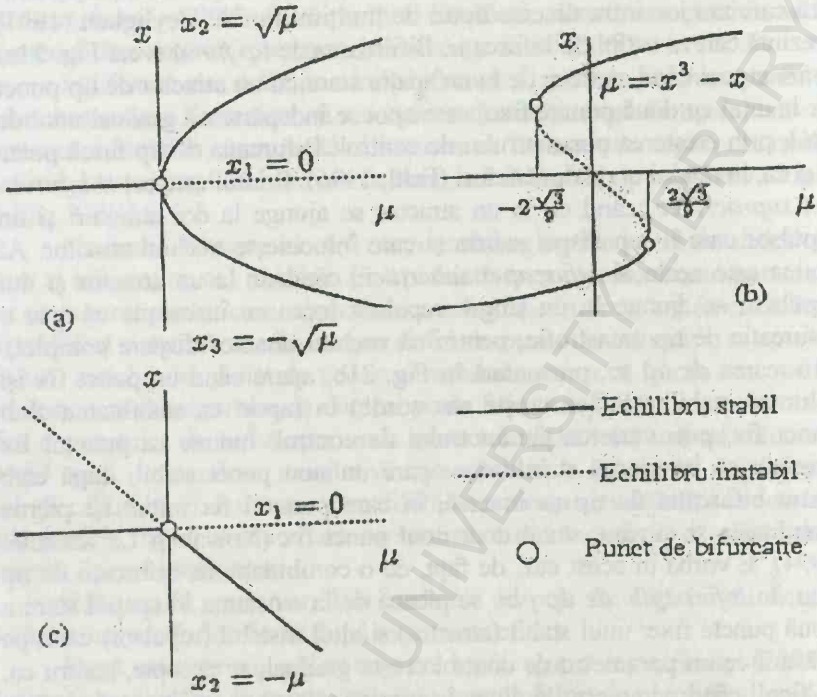


Fig. 21 Bifurcații de tip a) furcă; b) șa; c) transcritică, unde μ este parametrul de control (după Romero și Vázquez, 1998)

Se poate constata că, din punct de vedere logic, sunt posibile extrem de multe combinații pentru a defini diverse tipuri de bifurcații, dar în cele de față au fost menționate doar cele mai simple sau mai cunoscute.

Un exemplu comun de bifurcație, din viața obișnuită, este acela al trecerii de la mersul obișnuit la fugă (Whitall și Getchell, 1995). Dacă sistemul locomotor este considerat un sistem dinamic, acesta se poate afla în două regimuri dinamice diferite: cel caracteristic mersului și cel caracteristic fugii. Ele sunt interpretabile ca fiind două tipuri de atractori diferiți calitativ, tranziția de la unul la altul realizându-se printr-o bifurcație. Când mersul este din ce în ce mai rapid, paternul său motor devine din ce în ce mai puțin stabil și e mai greu de păstrat, în vreme ce

patemul alternativ al fugii este cel care începe să fie mai stabil şi să domine. E o observaţie comună că, încercând să mergem extrem de rapid, aveam tendinţa să începem să fugim de fapt. Pe de altă parte, când o fugă se încetineşte foarte mult, simţim tendinţa (ca o atracţie irezistibilă) să revenim la mers. În această bifurcaţie, parametrul de control ar fi viteza oscilaţiei celor două membre care au o mişcare cuplată.

La fel ca şi pentru alte concepte din TSDN, se discută de stabilitate şi în cazul ramificaţiilor unei bifurcaţii. Voinea şi Stroe (2000) definesc stabilitatea structurală a unei ramificaţii ca proprietatea sa (mai precis a ramurilor din diagrama de bifurcaţie) de a-şi păstra caracteristicile structurale atunci când în expresia matematică a ecuaţiei sistemului dinamic se introduce o mică perturbaţie sub forma unui termen liniar de tipul "a+bx", unde *a* şi *b* reprezintă constante foarte mici, sau chiar egale cu zero. De exemplu, ramificaţia de tip hysteresis nu este stabilă, ea schimbând-şi structura. Când această ramificaţie este perturbată, apare posibilitatea ca, pentru un anumit interval al valorilor parametrului de control, ecuaţia sistemului să aibă trei soluţii, corespunzând celor trei stări de echilibru posibile ale sistemului, şi nu doar o singură soluţie cum se întâmplă când ramificaţia este neperturbată. În cazul altor ramificaţii instabile, conexiunile dintre ramuri se pot rupe, dispărând punctele de ramificaţie, sau este posibil să apară noi conexiuni de ramuri.

În ceea ce priveşte gradul de reversibilitate a schimbărilor care apar prin bifurcaţii, Abraham (1996) e de părere că unele dintre ele sunt reversibile (sau mai bine spus se pot repeta), dar că, totuşi, par să existe şi secvenţe ireversibile de bifurcaţii care duc către complexitate, către comportament haotic.

În cele ce urmează se vor prezenta, după Nowak şi Lewenstein (1994) şi Voinea şi Stroe (2000), câteva căi prin care sistemele dinamice pot deveni haotice, ele constând, în principal, din secvenţe specifice de bifurcaţii.

Pentru situaţia când spaţiul fază are multe dimensiuni, o cale posibilă este aceea a *scenariului Landau-Hopf*, când un punct fix se bifurcă într-un ciclu limită, apoi acesta într-un tor, bifurcarea continuând prin apariţia a unui număr din ce în ce mai mare de frecvenţe în torul atractor, până când dinamica devine extrem de neregulată. Un astfel de scenariu este prezentat în Fig. 22, descriind cazul unui model dinamic neliniar propus de Abraham (1996) pentru procesul psihologic al conflictului intern apropiere – evitare.

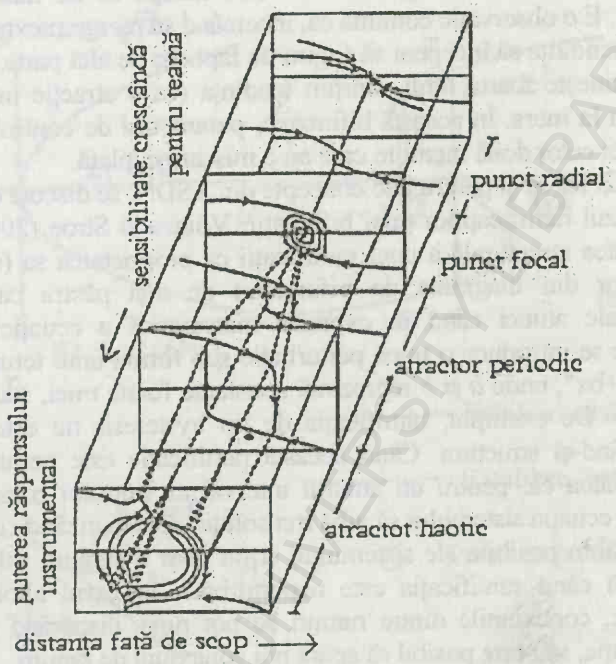


Fig. 22 Diagrama bifurcațiilor pentru modelul neliniar al conflictului apropiere – evitare (după Abraham, 1996)

Fiecare plan vertical indică un spațiu stare, în care se află câteva traiectorii ale portretului fază. Pe axa verticală se află intensitatea comportamentului, iar pe cea orizontală apropierea de un scop care e deopotrivă dorit și respins. Parametrul de control este sensibilitatea generală pentru teamă, care caracterizează un anumit individ.

Pentru sistemele cu o dimensionalitate scăzută este posibil *scenariul Ruelle-Takens*, care presupune trecerea directă prin bifurcație de la un tor atractor bidimensional la unul de tip straniu, pentru că nu e posibilă tranziția la un tor tridimensional. Practic se ajunge la haos prin trei bifurcări: una prin care se trece de la starea staționară la cea periodică, cu o singură pulsație, una prin care se face trecerea la o stare cvasiperiodică, în care apare o a doua pulsație (cele două pulsații nefiind într-un raport

care să corespundă unuia de numere întregi) şi una care să ducă la starea haotică, care va fi însă structural stabilă.

Un alt scenariu posibil *(ruta Feigenbaum)* este acela al *dublării perioadei* (care apare, de exemplu, în cazul aplicaţiei logistice discrete, după cum se va vedea mai jos, în Fig. 28), când sistemul trece prin bifurcaţii de la un ciclu limită cu perioada 2, la unul cu perioada 4, apoi 8, apoi 16 şi tot aşa mai departe, valoarea perioadei tinzând la infinit pentru o anumită mărime finită a parametrului de control, dincolo de care mişcarea va deveni haotică. Procesul de dublare a perioadei va continua până când parametrul de control va lua valoarea de 3,5699456..., numită *punctul lui Feigenbaum*. După depăşirea acestei valori, haosul este întrerupt de fenomene periodice, care apar pe intervale mici de variaţie a parametrului de control, numite, de aceea, ferestre periodice. Aceste ferestre periodice dispar când parametrul de control depăşeşte valoarea de 4, haosul instalându-se definitiv. O caracteristică importantă a unui astfel de scenariu este aceea că toate funcţiile care îşi dublează perioada o fac cu aceeaşi rată, de 4,6692..., care este o constantă universală, numită, după descoperitorul său, şi *constanta Feigenbaum* (Robert şi Roman, 1998).

Un ultim scenariu posibil prezentat în cele de faţă este acela al *intermitenţei* (elaborat de Pomeau şi Manneville, 1980, în Boutot, 1997; Voinea şi Stroe, 2000). Conform acestuia, un sistem devine haotic (sau, cu alte cuvinte, turbulent) atunci când este invadat de aşa numitele "fluctuaţii anomale", fluctuaţii care apar în momentul în care un parametru de control al sistemului depăşeşte o anumită valoare, numită prag de intermitenţă. Dacă parametrul se păstrează sub acest prag, comportamentul sistemului este regulat, acesta oscilând cu o perioadă bine definită. Când parametrul este situat deasupra pragului de intermitenţă, oscilaţiile regulate sunt întrerupte, din timp în timp, de nişte izbucniri ale turbulenţei care apar, durează un timp, şi apoi dispar. Cu cât parametrul ia valori din ce în ce mai mari, izbucnirile turbulenţei sunt din ce în ce mai dese, iar perioadele de regularitate devin cele care sunt intermitente, pentru ca în final să se instaleze în mod exclusiv comportamentul haotic. Fenomenul intermitenţei poate să apară, de exemplu, şi în sisteme care sunt foarte aproape de o bifurcaţie de tip şa, atunci când apare un nou punct fix.

Un exemplu concret foarte cunoscut de turbulenţă este cea care apare la curgerea apei dintr-un robinet (Sardar şi Abrams, 2002). Nivelul de deschidere a robinetului este parametrul de control. La început, când robinetul nu e prea deschis, se obţine un jet de apă stabil între robinet şi chiuvetă. Dacă se deschide şi mai mult robinetul, se ajunge la o mişcare periodică,

când se produc pulsații ale jetului de apă, care devin din ce în ce mai neregulate pe măsură ce robinetul se deschide mai mult. În final, când robinetul este larg deschis, fluxul va fi extrem de neregulat, ajungându-se la turbulență, adică la o stare instabilă de neregularitate la orice scală, care e foarte disipativă (adică disipă multă energie) (Sardar şi Abrams, 2002).

În opinia lui Boutot (1997), scenariile descrise mai sus nu sunt din punct de vedere formal incompatibile şi pot coexista chiar pentru un acelaşi sistem.

Spațiul de control sau spațiul parametrilor

Pentru un sistem dinamic cu mai mulți parametri de control se poate defini un spațiu ale cărui coordonate sunt date de aceştia, numit spațiu de control (vezi Fig. 23).

Mulțimea de bifurcație

Mulțimea punctelor din spațiul de control al unui sistem dinamic care trece printr-o bifurcație pentru care sistemul este bimodal sau multimodal, adică în care, pentru aceeaşi combinație de parametri de control, ne putem aştepta la două sau mai multe modalități stabile de comportamente diferite calitativ. Dinamica trecută a sistemului, adică istoria sa, va determina în mod strict în care din aceste modalități stabile se va afla sistemul (Tesser şi Achee, 1994). Tesser şi Achee (1994) evidențiază faptul că marginile mulțimii de bifurcație reprezintă o mulțime prag pentru bifurcații catastrofice. Schimbările parametrilor de control care se încadrează în interiorul mulțimii de bifurcație nu vor duce, în schimb, la schimbări catastrofale în comportament. În general, după forma pe care o are mulțimea de bifurcație în spațiul de control au fost denumite multe bifurcații catastrofice elementare, cum ar fi, de exemplu, catastrofa piscului (în engleză, "cusp"), care este ilustrată în Fig. 23, sau catastrofa rândunicii (pentru care mulțimea bifurcației are forma unei cozi de rândunică). În Fig. 23, este prezentată mulțimea de bifurcație corespunzătoare unui sistem dinamic neliniar descris de Nowak şi Lewenstein (1994) ca modelând gradul de implicare într-o relație romantică, exprimată comportamental, de exemplu, în numărul de întâlniri.

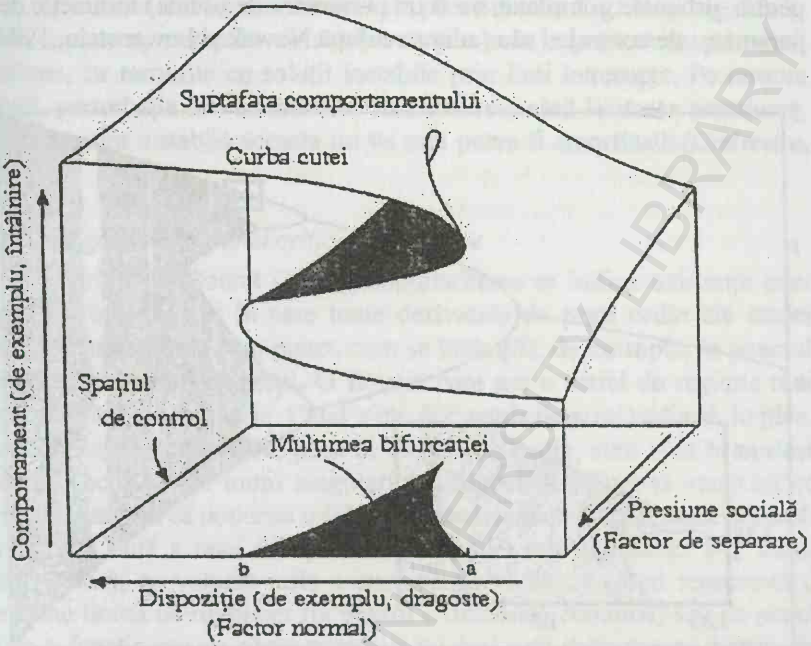


Fig. 23 Bifurcația piscului pentru un model dinamic al implicării într-o relație amoroasă (după Nowak și Lewenstein, 1994)

Spațiul de control este alcătuit pe baza a doi parametri considerați a fi relevanți: dragostea simțită pentru partener (ceea ce pentru acest tip de bifurcație reprezintă factorul normal) și presiunea socială (care reprezintă factorul de separare al acestei bifurcații) care încearcă să-l despartă pe un individ de partener. Mulțimea bifurcației e reprezentată prin suprafața umbrită din spațiul de control, care are forma unui pisc muntos. Se poate observa cum pentru punctele din spațiul mulțimii bifurcației individul poate avea deopotrivă o implicare romantică ridicată sau redusă, după direcția în care factorul normal e variat.

Diagrama de răspuns (de bifurcație)

Diagrama de răspuns este o modalitate de reprezentare grafică a punctelor de echilibru (adică a mulțimilor limită) ale unui sistem dinamic prin intermediul valorilor unei variabile dinamice a sistemului (care,

pentru sistemele complexe, va fi un parametru de ordine) în funcție de un parametru de control al său (adaptare după Nowak și Lewenstein, 1994).

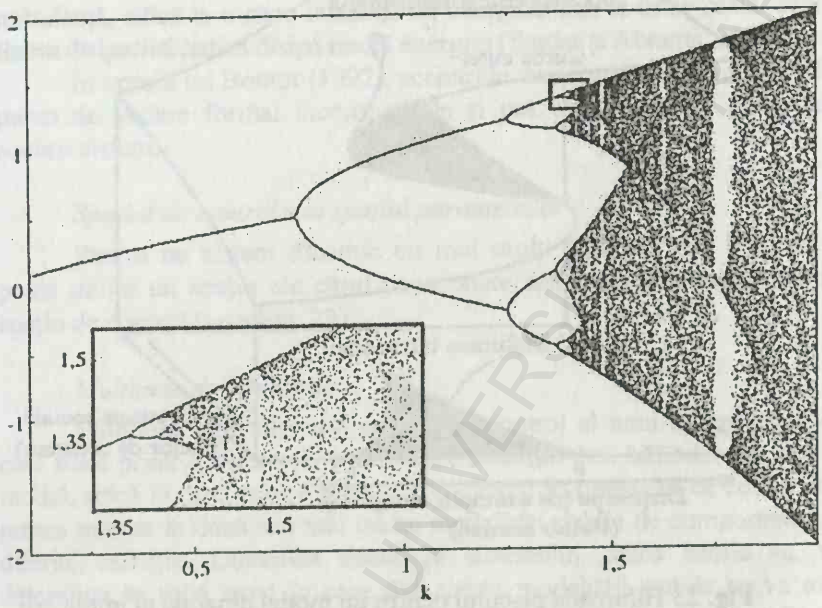


Fig. 24 Structura fractală a unei diagrame de bifurcație (după Sardanyés, 2004)

Punctele de bifurcație vor fi reprezentate grafic într-o astfel de diagramă ca fiind punctele în care în diagrama de răspuns apare o ramificare (vezi Fig. 24), de unde și denumirea pe care o mai poartă, ca diagramă de bifurcație. Cu ajutorul unei astfel de diagrame se reprezintă succesiunea de bifurcații care se produc odată cu modificarea graduală a parametrului de control. În Fig. 24 este ilustrată structura de fractal care este posibilă într-o astfel de diagramă (unde **k** este un parametru de control și **X** o variabilă care reprezintă mulțimile limită ale sistemului care trece prin succesiunea de bifurcații), pentru că prin mărirea unei porțiuni a diagramei se obține o structură asemănătoare cu diagrama inițială, în întregul ei, apărând astfel proprietatea autosimilarității, caracteristică oricărui fractal.

Diagrame de răspuns sunt şi cele prezentate în Fig. 21 şi Fig. 22. În cadrul acestora, ramurile cu soluţii stabile sunt reprezentate prin linii continue, iar ramurile cu soluţii instabile prin linii întrerupte. Pe ramura stabilă, perturbaţia se va amortiza, sistemul revenind la starea anterioară, dar pe ramura instabilă aceasta nu va mai putea fi amortizată (Codreanu, 2007).

Singularitate, punct critic, criticalitate

Potrivit lui Boutot (1997), singularitatea ar indica existenţa unei regiuni a unei funcţii în care toate derivatele de prim ordin ale acelei funcţii se anulează într-un punct, cum se întâmplă, de exemplu, în punctul de inflexiune al unei funcţii. O funcţie care are o astfel de regiune mai este numită şi singularitate. Când toate derivatele de prim ordin şi, în plus, toate derivatele superioare, până la un anumit ordin, sunt nule în acelaşi punct, funcţia se va numi singularitate degenerată. Port şi van Gelder (1995) arată însă că noţiunea e folosită în matematică cu mai multe sensuri: ca valoare nulă a unei funcţii sau a derivatei sale (şi atunci s-ar numi punct critic), ca valoare nulă a unui câmp vectorial (când reprezintă o mulţime limită de tip punct fix pentru o dinamică continuă) sau ca punct unde o funcţie sau un câmp vectorial nu mai sunt definite sau dispar. Se poate constata că totuşi, la nivel intuitiv, aceste multiple sensuri au ceva în comun: ideea de discontinuitate care poate să fie văzută ca întrerupere sau ca schimbare bruscă. Spaţiile sau mulţimile de puncte care nu au singularităţi, adică discontinuităţi, sunt ceea ce într-o secţiune anterioară s-a denumit a fi varietăţi. La fel ca şi varietăţile, singularităţile pot să definească mulţimi de puncte care să aibă o anumită dimensionalitate. De exemplu, Mira (1987a) arată că graniţa separatoare dintre doi atractori este o singularitate cu dimensiunea 1.

În contextul TSDN, singularităţile sunt tratate ca puncte critice sau de echilibru. Acestea, după definiţia dată de Voinea şi Stroe (2000), indică stări ale unui sistem dinamic în care el poate să rămână în repaus un interval de timp nedefinit dacă nu intervine o perturbaţie. Punctele critice sunt acele puncte din spaţiul stare care sunt fie puncte de maxim sau minim local, fie puncte în care o funcţie care defineşte relaţiile dintre variabilele sistemului dinamic este staţionară, fără puncte de maxim sau minim (de exemplu, punctele şa sau un punct în care se încrucişează "albiile" atractoare care apar în spaţiul fază al unui sistem dinamic). Punctele critice pot fi fie izolate, cum sunt cele de minim sau maxim sau

punctele şa, fie se înscriu pe o linie, cum e cazul celor care se află pe fundul unei "albii" atractoare din spaţiul fază. Pe de altă parte, aşa cum s-a văzut şi mai sus, în diagrama de bifurcaţie, punctele de bifurcaţie reprezintă şi ele puncte critice. În acest context, Meiss (2003) arată că punctul critic este un punct în care proprietăţile sistemului se schimbă brusc (de exemplu, un sistem complex poate trece de la deconectare la conectare şi invers, reprezentând aşa numitele schimbări de fază). Pot să apară în această situaţie şi schimbări bruşte ale proprietăţilor sau emergenţa unora noi, care sunt precedate de o instabilitate structurală crescută a sistemului, pentru că nu va mai exista o legătură între mărimea unei perturbaţii şi efectul ei. De aceea, în apropierea unui punct critic, sistemul va trece prin aşa numitele *fluctuaţii critice* (Haken, 1977, în Baron et al., 1994), care sunt definite ca o creştere a variabilităţii în comportamentul sistemului ca semnal al instalării unui nou mod de comportament. S-a putut constat din cele discutate în secţiunile anterioare şi că autoorganizarea unui sistem dinamic complex este favorizată de apropierea de un punct critic şi de menţinerea în vecinătatea sa (Meiss, 2003).

Pentru că fac referire la ideea de discontinuitate şi pentru că, aşa cum arată Boutot (1997), singularităţile au proprietatea de a concentra o formă globală într-un punct, noţiunile de singularitate şi de punct critic vor ocupa un loc important în teoria catastrofelor, despre care se va vorbi mai jos. O tehnică esenţială în cadrul acestei teorii este aceea a dezvoltării singularităţilor, care presupune deformarea lor prin introducerea unor mici perturbaţii sub forma adăugării unor termeni care conţin parametri suplimentari (Boutot, 1997). Prin intermediul unei astfel de dezvoltări, este evidenţiat ceea ce e potenţial, virtual, într-o singularitate, astfel încât se pot releva diferenţele calitative existente între funcţii care au un grafic foarte asemănător înainte de a fi dezvoltate. Un exemplu pe care Boutot (1997) îl dă în acest sens este cel al funcţiei $f(x) = x^3$, care este o singularitate pentru că are un punct de inflexiune în origine. Perturbând această funcţie prin introducerea unui termen suplimentar care conţine un parametru nou, parametrul **a**, se ajunge la următoarea sa dezvoltare: $f(x) = x^3 - a^2x$. Ca urmare a acestei perturbări, în graficul noii funcţii, apar de o parte şi de alta a originii un maxim şi un minim locale, care erau virtuale, invizibile, în punctul de inflexiune iniţial. Autorul citat interpretează acest lucru ca relevând complexitatea punctului de inflexiune, ca un rezultat al impactului a două tendinţe contrare reprezentate de punctele de maxim şi minim care rezultă prin dezvoltare.

Cu alte cuvinte, singularitatea ar fi o reprezentare matematică a unei situații instabile. Prin tehnica a ceea ce se numește dezvoltarea universală, se pot evidenția toate potențialitățile unei singularități degenerate (Boutot, 1997), capacitatea sa de a da naștere anumitor forme echivalente topologic, adică aceea de centru organizator, de unde și legătura acestei tehnici cu morfogeneza. Se spune atunci că o singularitate este desfășurată.

Catastrofă

În termenii cei mai simpli, la nivel intuitiv, catastrofa poate fi descrisă ca reprezentând situația în care variația continuă a cauzelor produce o variație discontinuă a efectelor (Boutot, 1997). În contextul TSDN, așa cum s-a văzut și mai sus, catastrofa e un tip special de bifurcație în care mulțimile limită apar sau dispar brusc, împreună cu bazinul lor, printr-o mică schimbare a unui parametru de control.

Thom, cel care a inițiat studiul sistematic al acestui tip de bifurcații, a fost cel care, după cum menționează Boutot (1997), a identificat toate tipurile de catastrofe elementare pentru o clasă mai restrânsă de sisteme dinamice, așa numitele sisteme dinamice gradiente. Caracteristica acestora este că traiectoriile lor converg către puncte de echilibru care corespund unor minime ale unor așa numite funcții de potențial. El a demonstrat că într-un spațiu cu patru dimensiuni (cum e și cel fizic) nu se pot produce decât 7 tipuri de catastrofe: pliu, pisc, coadă de rândunică, fluture, ombilic hiperbolic, ombilic eliptic, ombilic parabolic, denumite astfel după forma suprafeței comportamentului sistemului sau a mulțimii de bifurcație. Boutot (1997) remarcă faptul că s-a demonstrat că numărul catastrofelor care se pot produce într-un spațiu depinde exclusiv de numărul dimensiunilor sale (pentru două dimensiuni sunt două forme: pisc și întoarcere, pentru trei dimensiuni cinci forme, pentru 5 dimensiuni 11 forme), dar pentru o dimensionalitate mai mare de 5 numărul tipurilor de catastrofe e infinit. Pentru catastrofele cele mai des întâlnite, funcțiile de potențial corespunzătoare sunt: a) pentru pliu: $V(x) = x^3/3 + ax$; b) pentru pisc sau întoarcere: $V(x) = x^4/4 + ax^2/2 + bx$; c) pentru coada de rândunică: $V(x) = x^5/5 + ax^3/3 + bx^2/2 + cx$; d) pentru fluture: $V(x) = x^6/6 + ax^4/4 + bx^3/3 + cx^2/2 + dx$; e) pentru ombilicul eliptic: $V(x,y) = x^3 - xy^2 + ax + by + c(x^2 + y^2)$; f) pentru ombilicul hiperbolic: $V(x,y) = x^3 + y^3 + ax + by + cxy$; g) pentru ombilicul parabolic: $V(x,y) = x^2 y + y^4 + ax + by + cx^2 + dy^2$. După cum arată Voinea și Stroe (2000), studiul catastrofelor elementare presupune, în primul rând, stabilirea mulțimii punctelor critice în spațiul fazelor care are ca și coordonate pe x și parametrii de control a,

b, c, ... Aceste puncte trebuie să satisfacă condiția ca $dV/dx = 0$. Apoi se determină mulțimea punctelor din spațiul parametrilor de control definit de coordonatele a, b, c, ..., pentru care sistemul se află în puncte de tip singularitate. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească punctele acestei mulțimi sunt ca $dV/dx = 0$ și $d^2V/dx^2 = 0$. Aceste singularități sunt ceea ce Thom (1988, în Porte, 1994) numește a fi puncte catastrofice. El arată că într-un mediu în care se desfășoară un proces dinamic pot exista doar două tipuri de puncte: obișnuite și catastrofice. Punctele obișnuite ar fi acelea în care nu există variații observabile sau există variații observabile de natură continuă. Punctele catastrofice sunt însă acelea în care apar discontinuități observabile.

Studiul catastrofelor a condus la definirea a ceea ce a ajuns să se cheme *teoria catastrofelor*. Așa cum arată Boutot (1997), bazele sale au fost puse de matematicianul francez R. Thom, odată cu publicarea cărții sale "Stabilitate structurală și morfogeneză", în 1972. În această lucrare, Thom a depășit granițele tratării catastrofelor prin formalisme matematice care țin de teoria bifurcațiilor în sistemele dinamice (elaborată de Poincaré și Adronov), prezentând în cadrul acesteia și aplicații în fizică, lingvistică și biologie (Boutot, 1997). Teoria catastrofelor s-a conturat, astfel, ca o teorie de tip interdisciplinar, ca o metodă generală de analiză a schimbărilor discontinue, a salturilor calitative și de identificare pentru orice morfologie a bazei dinamice care a generat-o (Boutot, 1997), indiferent de domeniul de aplicație, de substratul natural al unei forme. Analogia fundamentală care a stat la baza operei lui Thom a fost aceea a dezvoltării embrionare, Thom mărturisind că ideea de catastrofă i-a fost inspirată de observarea trecerii unui embrion de la stadiul de blastulă, în care acesta are un singur strat de celule, la acela de gastrulă, cu două straturi, obținute prin plierea primului strat, așa cum și în catastrofa piscului (după cum se vede în Fig. 23 de mai sus) suprafața comportamentului ajunge să se plieze, generând două straturi (Boutot, 1997).

Teoria catastrofelor are doi centri de greutate. Primul ar fi acela al tratării problemei raportului dintre calitativ și cantitativ, continuu și discontinuu. Astfel, Latané și Nowak (1994) cred că prin această teorie se poate analiza orice fenomen în care apar răspunsuri discontinue ale unui sistem la schimbări graduale ale inputului extern. Argumentul adus este acela că ea este capabilă să ofere o descriere geometrică utilă a modului în care o funcție continuă se transformă în una discontinuă, putând să prezică și o serie de fenomene asociate, care se produc în apropierea momentului unei astfel de transformări. Totuși, ea ar fi, actualmente,

limitată la studiul discontinuităţilor care sunt posibile în sisteme cu dimensiuni puţine, pentru că numai pentru acestea au fost definite catastrofe elementare.

În plus faţă de teoria bifurcaţiilor, în care este inclusă, de asemenea, preocuparea pentru studiul raportului dintre continuu şi discontinuu, în cadrul teoriei catastrofelor s-a încercat o grupare a bifurcaţiilor (Nowak şi Lewenstein, 1994) pe baza a câtorva forme caracteristice, după cum s-a menţionat şi mai sus. Astfel se face trecerea către cel de-al doilea centru de greutate al teoriei, acela care ţine de clasificarea formelor (care se delimitează cu ajutorul discontinuităţilor) şi a bazelor lor dinamice. În această privinţă, teoria catastrofelor se întemeiază pe un postulat de natură filosofică, de tip heraclitian, formulat de Thom (1991, în Porte, 1994, p. 275) astfel: "lumea e alcătuită din entităţi aflate în conflict şi fiecare entitate caută să-şi delimiteze domeniul său, substratul, asupra căruia domină. Şi graniţele fiecărui domeniu sunt caracterizate de zone de puncte, ca mulţimi de puncte, unde se trece de la un regim local la un alt regim local. (...) Ideea este că, într-un anumit sens, orice morfologie e rezultatul unui anumit conflict între regimuri locale care îşi dispută spaţiul ambiant.". Cu alte cuvinte, s-ar spune că orice formă poate fi concepută ca rezultat al unui raport sau conflict între tensiuni, având, deci, o bază dinamică care o generează. În concepţia lui Porte (1994), teoria catastrofelor arată că dinamica acestui conflict e una regulată în spaţiul cvadridimensional, pentru că există şapte figuri geometrice globale în care poate fi încadrată configuraţia oricărei forme individualizate, stabilă din punct de vedere structural, şi opt singularităţi prin care se poate stiliza stabilitatea structurală a formelor spaţio-temporale. Acestea sunt, într-o altă formulare decât cea dată mai sus: minimum-ul simplu (care nu e o catastrofă, ci o sursă de potenţial parabolică), pliul, piscul (o combinaţie de două pliuri), coada de rândunică (combinând trei pliuri), fluturele (care combină patru pliuri) etc.

Dintre toate catastrofele, cea care a fost folosită cel mai mult ca model al unor fenomene naturale dintre cele mai diverse, inclusiv pentru a descrie discontinuităţile care apar la nivelul proceselor psihice şi comportamentale (cum s-a văzut şi mai sus în Fig. 23), este catastrofa piscului şi, de aceea, ea va fi tratată mai pe larg în cele ce urmează. Se vor prezenta şi acele semne indicatoare care îi pot sugera unui cercetător posibilitatea de a modela un fenomen studiat cu ajutorul acestui tip de catastrofă. După cum se deduce din explicaţiile date pentru Fig. 23, unde ea este ilustrată grafic, cu ajutorul său se pot analiza fenomene în care e vorba de o singură variabilă observată (care poate reprezenta un parame-

tru de ordine descriind comportamentul unui sistem dinamic complex) şi doi parametri, factori, de control. Catastrofa de tip pisc e considerată ca fiind o dezvoltare a singularităţii bipătratice: $f(x) = x^4$, prin adăugarea a doi termeni care conţin parametrii de control (**a** şi **b**), obţinându-se funcţia de potenţial: $V(x) = x^4/4 + ax^2/2 + bx$. Reprezentarea catastrofei se poate face într-un spaţiu tridimensional care este definit de cei doi parametri de control (care determină spaţiul de control) şi o variabilă sau un parametru de ordine care descrie comportamentul sistemului (vezi Fig. 23). Pe măsură ce un parametru de control se schimbă, sistemul tinde spre alte condiţii de echilibru, care corespund unui alt punct de pe suprafaţa comportamentului. Unul dintre parametrii de control se poate numi *factor de separare*, iar celălalt *factor normal*. Conform lui Tesser şi Achee (1994), *factorul de separare* este acela prin a cărui modificare graduală se ajunge la generarea a două comportamente divergente, adică la două paternuri de comportament diferite calitativ, între care se realizează tranziţia bruscă, catastrofică. Creşterea factorului de separare poate uneori să crească valoarea parametrului comportamental, alteori să o scadă. *Factorul normal* este acel factor care, atunci când cel de separare e ţinut constant, duce, prin creşterea lui graduală, la o creştere tot graduală a parametrului comportamentului sistemului.

Astfel, în exemplul ilustrat în Fig. 23, intensitatea sentimentului de dragoste ar fi un factor normal, pentru că pe măsură ce creşte, va creşte întotdeauna şi numărul întâlnirilor cu un partener într-o relaţie romantică. Sub un anumit prag al presiunii sociale, frecvenţa întâlnirilor va depinde exclusiv de intensitatea sentimentului de dragoste la un moment dat. În termeni dinamici, s-ar putea spune că există un singur atractor. Dar, la o anumită valoare prag a presiunii sociale, apare discontinuitatea şi instabilitatea, pentru un domeniu de valori ale intensităţii sentimentului existând două niveluri posibile diferite (unul ridicat şi altul scăzut) ale frecvenţei întâlnirilor. Care anume dintre ele se va realiza în cele din urmă va depinde şi de intensitatea sentimentului în trecut, nu doar de intensitatea acestuia la un moment dat. Dacă acesta a fost înainte ridicat, atunci şi nivelul întâlnirilor va fi mai ridicat decât dacă el a fost înainte scăzut. Pe măsură ce presiunea socială este mai mare, diferenţa dintre cele două niveluri va creşte şi domeniul de valori ale intensităţii sentimentului pentru care apare bistabilitatea, adică cele două comportamente diferite, se va extinde şi el. În termeni dinamici, acest lucru înseamnă că, după o anumită valoare a factorului de separare, apare bistabilitatea, la fel ca în bifurcaţia de tip şa. Cu alte cuvinte, apar doi atractori diferiţi la fel de puternici sau cu putere

foarte apropiată pentru un domeniu al factorului normal, care sunt separaţi de o mulţime limită repulsoare, corespunzând acelor valori ale parametrului comportamental care sunt situate între cele două niveluri şi formând interiorul inaccesibil al pliului suprafeţei comportamentale.

Trecerea de la un patern comportamental la un altul care are loc prin catastrofa de tip pisc poate fi ilustrată şi prin modul în care se schimbă reprezentarea grafică a funcţiei de potenţial pentru mai multe valori ale factorului normal **c** în timp ce acesta creşte gradual (vezi Fig. 25). Se observă în Fig. 25 cum, până la o anumită valoare a parametrului **c**, există un singur atractor (un singur comportament), reprezentat grafic ca minim al funcţiei de potenţial. Dincolo de această valoare, apare un nou atractor, exprimat ca un nou minim, unul local, al funcţiei de potenţial. Acest lucru înseamnă că vechiul atractor îşi păstrează încă dominanţa, chiar dacă intră în competiţie cu noul atractor. Pe măsură ce continuă creşterea valorii lui **c**, vechiul atractor pierde din putere (din stabilitate), iar noul atractor câştigă putere. Pentru o anumită valoare a lui **c** se va ajunge la situaţia în care ambii atractori, separaţi de un repulsor (reprezentat ca un maxim local în graficul funcţiei), vor avea aceeaşi putere, instabilitatea fiind maximă. Dincolo de acea valoare, vechiul atractor îşi pierde definitiv dominanţa, în favoarea noului atractor, a noului comportament. Puterea lui va scădea în continuare, pentru ca, în final, pentru o anumită valoare a lui **c**, el să dispară complet.

Bifurcaţia care corespunde catastrofei de tip pisc este bifurcaţia hysteresis-ului.

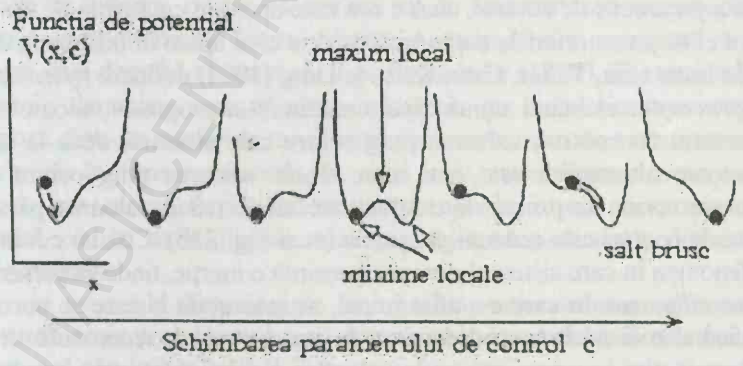


Fig. 25 Schimbarea funcţiei de potenţial în catastrofa de tip pisc (după Wagenmakers, van der Maas şi Molenaar, 2005)

Potrivit lui van der Maas şi Molenaar (1992) ar exista 8 semne indicatoare ale catastrofei de tip pisc, care pot fi utile în practică pentru a iniţia modelarea unui fenomen natural cu ajutorul ei. Trei dintre ele apar şi în afara mulţimii bifurcaţiei din spaţiul de control şi o pot semnala: 1) saltul brusc, este cel mai evident criteriu, dar şi unul din cele mai greu de determinat, pentru că depinde de scala temporală la care se realizează o observaţie; 2) bimodalitatea (adică, bistabiliatea, existenţa a două soluţii stabile pentru o aceeaşi valoare a unui parametru de control); 3) inaccesibiltatea, adică stările intermediare dintre două configuraţii stabile sunt inaccesibile, ele fiind extrem de instabile; 4) hysteresis-ul; 5) divergenţa (strâns legată de fenomenul bifurcaţiei, adică separarea suprafeţei comportamentului în două straturi), datorită căreia două sisteme care au avut drumuri foarte apropiate prin spaţiul de control ajung să aibă comportamente diveregente, datorită unor perturbaţii minore; 6) varianţa anomală: varianţa variabilei comportamentale creşte puternic în vecinătatea mulţimii de bifurcaţie şi apare o scădere în structura de corelaţii a variatelor măsuri comportamentale în această perioadă; 7) divergenţa răspunsului liniar, ceea ce înseamnă apariţia unor oscilaţii ample în urma unor perturbaţii; 8) încetinirea critică, adică întârzierea în restabilirea comportamentului de echilibru după perturbaţii.

Hysteresis, contrast accentuat, graniţă critică

Hysteresis-ul este un concept care are mai multe sensuri. Tehnic vorbind, el poate să se refere în mod specific la bifurcaţia de acest tip, una cu doi parametri de control, cum e cea care apare în catastrofa de tip pisc. Apoi el se poate referi la o anumită situaţie care apare în bifurcaţia de tip şa. În acest sens, Tuller, Case, Kelso şi Ding (1994) definesc *hysteresis-ul propriu-zis* ca existând atunci când, crescându-se progresiv valoarea unui parametru de control, valoarea prag pentru care sistemul trece la starea atractoare alternativă este mai mare decât valoarea prag pentru care sistemul revine la prima stare atractoare atunci când valoarea parametrului de control este scăzută progresiv (vezi Fig. 21b). Cu alte cuvinte, e un fenomen în care sistemul dinamic prezintă o inerţie, tinde să persiste în starea atractoare în care s-a aflat iniţial, atractorul de la care se porneşte rămânând mai mult timp dominant. În acest context, fenomenul invers hysteresis-ului, cu care este cel mai adesea confundat, este *contrastul accentuat* sau *antihysteresis-ul*. El apare atunci când cel de-al doilea atractor, cel spre care se realizează tranziţia, va fi oarecum dominant,

pentru că el domină mai mult timp. În această situație, când se creşte progresiv valoarea parametrului de control, valoarea prag pentru care se realizează tranziția spre atractorul alternativ este mai mică decât valoarea prag a parametrului de control pentru tranziția care se realizează atunci când valoarea parametrului de control este scăzută progresiv (o reprezentare grafică a antihysteresis-ului s-ar obține prin imaginea în oglindă a formei de S din Fig. 21b). În situația când cele două valori prag sunt egale, fenomenul se numeşte *graniță critică*. Acesta este caracterizat prin absența multistabilității şi a alegerii stării stabile în funcție de evoluția anterioară în timp a sistemului dinamic.

La modul generic, hysteresis-ul apare atunci când un sistem dinamic este bi- sau multistabil şi starea sa depinde de istoria schimbărilor unui parametru de control. Acest lucru înseamnă că trecerea de la o stare stabilă la alta se face pentru valori diferite ale acelui parametru de control, în funcție de direcția din care se face scalarea progresivă, graduală a acestuia (Heylighen, 1991; Woollacott şi Jensen, 1994). Prigogine şi Stengers (1984, în Woollacott şi Jensen, 1994) interpretează această situație ca una în care tranziția dintre stări stabile nu mai e o funcție simplă de inputuri aditive. De aceea, pentru aceeaşi valoare a parametrului de control vor exista stări stabile multiple ale sistemului, el putând intra în una sau alta din ele, după direcția în care s-a produs modificarea unui parametru de control. Tesser şi Achee (1994) remarcă faptul că fenomenul hysteresis-ului reprezintă un indiciu că o schimbare în comportament nu e întotdeauna reversibilă, că istoria unui comportament contează pentru evoluția sa viitoare, pentru că acelaşi set de circumstanțe curente poate produce comportamente foarte diferite. Aceeaşi idee e exprimată în alți termeni, mai degrabă cibernetici, şi de Berkolaiko (1999). El consideră că sistemele dinamice care prezintă hysteresis au o relație input-output compusă dintr-un număr de ramificații şi un mecanism de memorare care determină, în fiecare moment, în mod unic, care dintre ramuri va fi urmată, cea aleasă depinzând de output şi de istoria sistemului. Se constată că, în definițiile de mai sus, hysteresis-ul nu e distins de antihysteresis.

În modelele dinamice ale fenomenelor naturale care utilizează o catastrofă de tip pisc, hysteresis-ul este, de obicei, semnul indicator cel mai căutat, cel căruia i se acordă importanța cea mai mare. Acest lucru este explicabil, pe de o parte, pentru că pare să fie mai uşor de pus în evidență,

iar pe de altă parte, el reprezintă acel semn care sugerează forma caracteristică a trecerii între mai multe stări stabile într-o catastrofă de tip pisc.

Limita haosului

Conceptul de limită a haosului a fost definit cu referire, în mod special, la comportamentul sistemelor dinamice haotice complexe şi este strâns legat şi de acela de autoorganizare, un alt nume al să fiind acela de *criticalitate autoorganizată* (Lucas, 2005b). De aceea, multe din consideraţiile referitoare la complexitate şi autoorganizare sunt valabile şi în ceea ce priveşte limita haosului, unele din ele regăsindu-se şi în această secţiune.

Lucas (1997) defineşte limita haosului ca un punct critic al unui sistem dinamic în care o schimbare minoră poate împinge sistemul fie înspre un comportament haotic, fie îl fixează într-un anumit atractor nehaotic. Acest punct critic se află la mijlocul intervalului definit de sistemele stabile (în sensul clasic, adică de tipul stării corespunzătoare atractorilor punctuali şi ciclici) şi cele haotice. Pentru Lucas (2005b) el reprezintă o "instabilitate cu ordine". La fel, Rae (2003) arată că într-un sistem aflat la limita haosului există un echilibru între stabilitate şi instabilitate, anumite părţi ale sistemului schimbându-se, iar altele rămânând aceleaşi. Pentru ca un sistem complex să aibă un comportament aflat la limita haosului, conform celor menţionate de Lucas (2005b), componentele sale nu trebuie să fie nici total conectate, nici total deconectate, nici complet fixate, nici total libere. Cu alte cuvinte, nivelul de constrângere al componentelor trebuie să fie unul intermediar. Dacă conectivitatea lor e prea mare, sunt prea fixate, dinamica va dispărea, iar dacă e prea mică, elementele sunt prea libere, şi atunci ordinea, organizarea dinamicii, nu va putea fi susţinută. Însă sistemele cu o conectivitate intermediară, dacă sunt lăsate libere, fără vreo constrângere exterioară, vor tinde să graviteze în jurul acestui punctului critic care reprezintă limita haosului (Lucas, 1997). Într-o astfel de stare vor apărea corelaţii care se extind în întreg sistemul (conectarea dintre părţi se va face la mare distanţă), iar distribuţia puterii (a energiei, amplitudinii oscilaţiilor) se face pe distanţe scurte. Perturbaţiile tranziente pot dura pentru foarte mult timp şi să se propage în întregul sistem, dacă acesta se află la limita haosului, sau, mai frecvent, efectele lor pot fi locale şi de durată scurtă, ceea ce înseamnă că sistemul e instabil pentru anumite perturbaţii şi stabil la altele (Dimitrov, 1997; Lucas, 1997; Rae, 2003).

Starea la limita haosului e adesea asociată, datorită proprietăților ei, cu starea lichidă, vorbindu-se, de aceea, de rețele neuronale în starea lichidă, ca exemple de sisteme dinamice complexe care se pot afla la limita haosului. Ca stare de tranziție între starea solidă și cea gazoasă, starea lichidă e considerată ca o stare în care flexibilitatea e optimă pentru ca un sistem să se poată adapta mediului. De aceea, noțiunea de limită a haosului a fost sugerată ca fiind potrivită pentru a caracteriza starea de sănătate, când adaptabilitatea unui organism e maximă, față de starea patologică (plecându-se de la presupunerea că organismul uman e un sistem dinamic complex neliniar). De exemplu, Marks-Tarlow (1999, în Delignières, Fortes și Ninot, 2004), referindu-se la sănătatea psihică, susține că aceasta există doar atunci când sistemul neuoropsihic se află la limita haosului. Argumentul său este acela că numai într-o astfel de stare sistemul are suficientă stabilitate pentru a asigura o anumită constanță în funcționare, dar și un grad de variabilitate care să permită creativitatea și adaptarea. Patologia ar fi o deviere într-o direcție sau alta de la această stare de limită, fie în direcția unui comportament apropiat de cel aleatoriu, cum ar fi cel isteric, sau deosebit de rigid, cum ar fi cel obsesiv-compulsiv.

Criză

Alligood, Sander și Yorke (2004) definesc criza ca un tip special de bifurcație globală, în care un atractor haotic straniu își schimbă mărimea în mod discontinuu sau dispare complet atunci când un parametru de control este schimbat progresiv. Așa cum arată Meiss (2003), acest lucru înseamnă că atractorii se schimbă prin distrugerea graniței bazinului lor de atracție. Într-o abordare mai sistematică, Dimitrov (2000) evidențiază faptul că fenomenul crizei apare la limita haosului și poate fi de mai multe tipuri. *Criza fuziunii atractorilor* se referă la situația în care când doi sau mai mulți atractori stranii pot să-și piardă simultan stabilitatea și să fuzioneze într-unul nou. *Criza graniței* se produce când un atractor straniu, în mod brusc, dispare complet. *Criza interiorului (de restrângere/ expansiune*) presupune o schimbare dramatică a mărimii unui atractor straniu fie în sensul micșorării, fie în cel al creșterii acestei mărimi. Prin *criza de despicare* a unui atractor straniu, acesta se împarte în unul sau mai mulți atractori.

Sincronizare

Sincronizarea e o noțiune care se referă la comportamentul sistemelor dinamice complexe alcătuite prin cuplarea (simetrică sau asime-

trică) a două sau mai multe subsisteme cu comportament oscilatoriu. Dat fiind că multe sisteme complexe din natură sunt de acest tip, studiul comportamentului unor astfel de sisteme dinamice complexe e important. De exemplu, el poate fi util pentru a analiza activitatea rețelelor de neuroni care prezintă descărcări ritmice.

Când două sau mai multe sisteme dinamice cu comportament oscilatoriu ajung să oscileze în fază, ele se numesc sincronizate. Dacă aceste sisteme dinamice sunt cuplate, formând un sistem complex, sincronizarea reprezintă, de fapt, un atractor al sistemului compus prin cuplarea sistemelor dinamice. Stabilitatea acestui atractor, și implicit a sincronizării, depinde, așa cum arată Breakspear (2004), de intensitatea cuplării dintre subsisteme, ca parametru de control. La o valoare prag a acestuia pentru sistemul astfel alcătuit, apare ceea ce Breakspear (2004) consideră a fi o bifurcație "explozivă", când de la o dinamică sincronizată, cu puține dimensiuni, se ajunge la o dinamică independentă multidimensională a celor două sisteme cuplate. Când intensitatea cuplării e mică, dinamica sistemului compus nu va fi stabilă, regiunea atractoare din spațiul stare al sistemului complex format fiind reprezentată de o varietate (numită a sincronizării) care, deși e continuă, e extrem de neregulată, devenind puternic nediferențiabilă. Este ceea ce Breakspear (2004) numește *sincronizare generalizată*. Ea va "amesteca" trăsături ale unor atractori neidentici din sistemele dinamice cuplate (Abarbanel, Rulkov și Sushchik, 1995, în Breakspear, 2004). Pentru că această regiune e continuă, dacă cuplarea e asimetrică, se vor putea prezice, în continuare, traiectoriile sistemului de răspuns pe baza cunoașterii traiectoriilor sistemului care conduce. Când cele două sisteme dinamice sunt haotice, e posibilă o sincronizare a fazelor haotice sau o sincronizare a orbitelor haotice, așa cum arată Fujisaka și Yananda (1983, în Breakspear, 2004). În acest caz, sincronizarea fazelor are un sens schimbat, ea însemnând că diferența dintre faze, luată în modul, trebuie să fie mai mică decât o anumită constantă dată. E un tip special de sincronizare, pentru că apare chiar și în situația în care amplitudinile de variație a celor două sisteme nu sunt corelate și nu există ceea ce s-a numit mai sus sincronizare generalizată.

Tranziție

Într-un mod foarte general, tranziția ar putea fi definită ca orice trecere a unui sistem dinamic de la o stare la alta, care se produce în virtutea propriei dinamici intrinseci.

Van Geert (1994) se referă la un sens mai restrâns al tranziției, dar nu foarte precis, prin intermediul ei fiind conectate stări în care sistemul poate să rămână pentru o perioadă relativ lungă de timp și care trebuie să fie asemănătoare în anumite privințe. O condiție suplimentară menționată de acesta ar fi aceea ca perioada de timp în care are loc tranziția să fie semnificativ mai mică decât cea a stărilor pe care le conectează. El identifică, din acest punct de vedere, două tipuri de tranziții. Primul este acela în care stările conectate sunt semistabile, iar sistemul trece prin toate stările intermediare pentru a realiza conexiunea. Un exemplu ar fi acela al trecerii realizate între doi atractori ai unei itinerațe haotice (vezi Fig. 26b). Un altul ar fi acela al tranzițiilor între două stări relativ stabile datorat zgomotului, adică unei perturbații inițiale (vezi Fig. 26a).

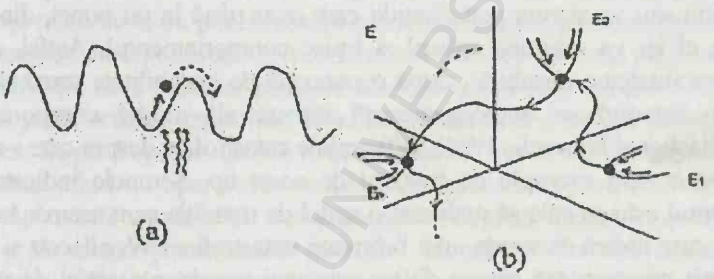


Fig. 26 (a) Tranziția prin intermediul zgomotului; (b) Tranziția prin itinerață haotică (după Tsuda, 2001)

Tsuda (2001) compară tranziția realizată prin intermediul zgomotului cu aceea care se realizează prin intermediul itinerației haotice. El arată că e greu să se realizeze o tranziție către o anumită stare dorită stabilă a unui sistem dinamic doar prin intermediul zgomotului, mai ales când starea de la care se pornește are un grad mare de stabilitate. Se întâmplă acest lucru pentru că există un raport direct proporțional între intensitatea zgomotului și probabilitatea de a realiza tranziția. Dar, pe de altă parte, crescând nivelul zgomotului, creștem nu doar probabilitatea ca sistemul să ajungă în starea dorită, ci și ca el să se reîntoarcă în cea în care se afla inițial. O cale mai potrivită ar fi aceea a folosirii așa numitului zgomot "inteligent", în procedura "călirii simulate" (în engleză:"simulated annealing"), când intensitatea zgomotului este scăzută brusc, chiar înainte

de realizarea tranziției la noua stare. Totuși, aceasta este o procedură dificilă, pentru că e greu de surprins momentul potrivit în care trebuie aplicată. Cea mai eficientă cale de a realiza o astfel de tranziție ar fi însă cea propusă de autorul mai sus citat, adică prin itinerantă haotică, când atractorii între care se realizează tranziția au direcții pentru care prezintă instabilitate, ceea ce îi va permite sistemului să-i părăsească mai ușor.

Al doilea tip de tranziție este acela în care stările conectate sunt stabile, reprezentând comportamente care se exclud reciproc, iar trecerea între stări este practic instantanee. Ele au mai fost numite și *tranziții de fază* (Vallacher și Nowack, 1994), adică tranziții în care au loc schimbări bruște și dramatice de la un model comportamental la altul. Exemple de acest fel ar fi trecerea de la o fază lichidă la una gazoasă sau de la una solidă la una lichidă ale unui sistem complex de molecule. În cadrul lor, un sistem va rezista sau va atenua perturbațiile care apar până la un punct, dincolo de care el își va schimba radical și brusc comportamentul. Astfel, chiar și "instabilitatea e instabilă", după o perioadă de instabilitate urmând una în care sistemul se autoorganizează într-un alt model comportamental (Vallacher și Nowack, 1994). Bifurcațiile catastrofice despre care s-a vorbit mai sus sunt exemple de tranziții de acest tip. Semnele indicatoare că sistemul este pe cale să realizeze o astfel de tranziție sunt asemănătoare cu cele care indică existența unei bifurcații catastrofice. Woollacott și Jensen (1996) menționează câteva dintre cele mai importante astfel de indicii : creșterea variabilității în jurul mediei parametrului de ordine, apariția sensibilității la perturbații, reîntoarcerea lentă la stări stabile după perturbație.

Rumelhart (1996) consideră că un alt tip de tranziție este și *relaxarea* (termen folosit mai ales în contextul descrierii comportamentului rețelelor neuronale artificiale), prin care un sistem dinamic se fixează într-o stare de optim local, adică realizează o trecere de la o stare instabilă către una mai stabilă.

Cunoașterea tipurilor, a modalităților de tranziție între stări dinamice, are relevanță practică pentru acele situații în care se dorește controlul eficient al comportamentului unui sistem dinamic sau construirea unor sisteme dinamice artificiale ușor controlabile (cum ar fi cazul unor rețele neuronale în cadrul domeniului inteligenței artificiale). De exemplu, așa cum s-a arătat și mai sus, controlul prin intermediul zgomotului nu e o metodă prea indicată, pentru că are șanse reduse de reușită.

Staționaritate, nestaționaritate

Sensul exact al termenului de staționaritate diferă după contextul în care este folosit, dar la modul general el înseamnă constanță.

Un prim sens specific ar fi acela care se referă la schimbarea în timp a legii dinamice a unui sistem dinamic. Când această lege este constantă, neapărând modificări semnificative sau sistematice ale parametrilor de control, se spune că sistemul este staționar. Când ea se schimbă în timp, sistemul este nestaționar (după French și Thomas, 1998). Burlingame și Bloch (1996) propun o definiție similară, dar arată că se discută de staționaritate în contextul particular al realizării unor măsurători asupra comportamentului unui sistem dinamic. Pentru ei, staționaritatea înseamnă că mecanismul generator al comportamentului unui sistem neliniar complex nu se schimbă în timp ce sistemul este măsurat (adică sistemul nu trece de la un patern comportamental la altul, prin schimbarea legii dinamice). Interpretarea lor face trecerea către un alt sens particular al staționarității, unul statistic, legat de anumite proprietăți ale proceselor stocastice și ale seriilor temporale, fiind important pentru analiza statistică a acestora. După Popescu (2000), staționaritatea într-o serie temporală există atunci când nu apare vreo tendință de schimbare pentru valoarea medie, nu există modificări de dispersie calculate pentru intervale succesive ale seriei și nu există paternuri sezoniere. Cu alte cuvinte, proprietățile statistice ale seriei temporale nu se schimbă în timp, distribuția datelor rămânând aceeași pentru orice eșantion extras din aceasta. Este evident că dacă legea dinamică a sistemului dinamic care a generat seria temporală nu se schimbă și proprietățile sale statistice se vor păstra de-a lungul timpului. Afirmația inversă nu este însă valabilă, putând exista cazuri în care, de exemplu, media unor eșantioane extrase din serie să fie relativ constantă, dar legea dinamică să se fi schimbat în timp.

Se discută despre staționaritate și referitor la comportamentul sistemelor dinamice disipative, atunci când ele se află într-o stare constantă, a cărei entropie nu variază în decursul timpului (Prigogine și Stangers, 1988/1998). În cadrul lor, staționaritatea se obține prin compensarea pierderilor de energie (producției de entropie) prin intrările de energie (aportul de entropie) în schimburile realizate cu mediul (Robert și Roman, 1998). Comparativ cu starea constantă care se obține când un sistem dinamic izolat este în echilibru, starea staționară este obținută într-un sistem dinamic deschis prin influențe externe.

Semnele neliniarității, tehnici de identificare a tipului de sistem neliniar

Nowak și Lewenstein (1994) prezintă mai multe căi prin care se pot găsi indicii pentru a afla dacă un sistem este neliniar sau pentru a determina dinamica neliniară care îl caracterizează.

Calea cea mai simplă, dar nu și una precisă, ar fi observarea directă și căutarea semnelor tipice și evidente ale neliniarității unui comportament (Nowak și Lewenstein, 1994), cum ar fi cele prezentate în secțiunile în care au fost tratate noțiunile de neliniaritate, bifurcație sau catastrofă. Mai ușor de observat ar fi, de exemplu, potrivit lui Nowak și Lewenstein (1994), prezența bifurcațiilor, hysteresis-ul, răspunsul neuniform la aceeași forță sau stimul (răspunsul variind în funcție de starea în care se află sistemul). Pentru că bifurcațiile se pot produce doar în sisteme neliniare, din prezența acestora se poate infera că e vorba de un sistem dinamic neliniar.

O a doua cale ar fi folosirea a diverse tehnici de *analiză a seriilor temporale* obținute prin măsurători ale valorilor luate de una sau mai multe variabile ale sistemului studiat. Există mai multe astfel de tehnici, în cele de față fiind prezentate doar câteva dintre cele mai frecvent utilizate.

Prima ar fi aceea a analizei *funcției de autocorelare*, care se bazează pe măsurarea magnitudinii corelației între două valori ale unei variabile dinamice $x(t)$ și $x(t+\tau)$, separate de o întârziere τ (Nowak și Lewenstein, 1994). Adică, după Selz și Mandell (1994), se consideră perechi de observații din aceeași serie temporală care sunt separate de un anumit număr de puncte de observație intermediare. E vorba, de fapt, de corelația unei variabile cu ea însăși, ea indicând în ce grad o măsură e dependentă de altele învecinate. Valoarea acestei corelații reprezentată în funcție de timp poate da indicații asupra naturii sistemului dinamic de la care a provenit o serie temporală (vezi Fig. 27a, Fig. 33a). Dacă datele provin de la un sistem care e aleatoriu, atunci nu va exista o corelație între măsurători succesive și funcția va scădea abrupt către zero. Dacă ele provin de la un sistem cu o anumită dinamică, cum ar fi și cea neliniară, funcția sa va prezenta oscilații, dar se va stabiliza la valoarea zero după o perioadă relativ lungă, ceea ce indică o corelație pe distanțe mari a măsurătorilor. Se poate observa acest lucru în Fig. 27a unde este prezentată funcția de autocorelație pentru dinamica atractorului Hénon. După cum s-a amintit și într-o secțiune anterioară, în cazul unei comportări haotice, funcția de autocorelare scade în timp, reflectând pierderea progresivă a corelării valorilor dintr-o serie temporală (Codreanu, 2007).

O altă tehnică ar fi *analiza spectrală* (sau *analiza Fourier*), care e folosită pentru a identifica comportamente oscilatorii şi amplitudinile corespunzătoare oscilaţiilor prezente în fenomenele investigate pe baza datelor dintr-o serie temporală. Reprezentarea aşa numitei transformate Fourier a funcţiei de autocorelaţie în funcţie de frecvenţa de oscilaţie se numeşte *spectru de putere*. El indică contribuţiile diferitelor frecvenţe în dinamica seriei de date obţinute (Nowak şi Lewenstein, 1994), acestea fiind marcate prin linii corespunzătoare fiecărei frecvenţe. O *lege de putere* este o reprezentare a logaritmului numărului de ori în care apare valoarea unei anumite proprietăţi în raport cu logaritmul valorii însăşi (Meiss, 2003). În cazul spectrului de putere e vorba de valoarea unei frecvenţe. Forma spectrului de putere poate indica tipul de dinamică a sistemului pentru care s-a obţinut seria de date. După cum arată Nowak şi Lewenstein (1994), dacă acesta are un atractor de tip punct fix, spectrul va avea un singur vârf de amplitudine în origine, dacă are un atractor de tip ciclu limită, vârful se va afla la nivelul frecvenţei corespunzătoare oscilaţiei acelui ciclu, iar dacă mişcarea e haotică, spectrul se întinde pe un domeniu extins de frecvenţe, cu tendinţa de a-şi scădea încet amplitudinea pe măsură ce frecvenţele cresc (vezi Fig. 27b pentru spectrul de putere al unei dinamici haotice şi Fig. 33b pentru spectrul de putere al atractorului Lorenz). Pentru zgomotul alb (semnalele aleatorii), spectrul de putere este constant, ceea ce înseamnă că fluctuaţiile au aceeaşi amplitudine (putere) pentru toate scalele temporale (Beltz şi Kello, 2006).

În cazul sistemelor dinamice complexe, comportamentul colectiv măsurabil de tip fractal produs de criticalitatea autoorganizată poate fi indicat de *spectrul de putere 1/f* (Kentridge, 1994; Gilden, 2001). Când se realizează o analiză a seriilor temporale de date, un astfel de spectru reflectă forma relaţiei dintre o componentă de frecvenţă a seriei şi proporţia din variabilitatea datelor care e explicată de acea frecvenţă. Neliniaritatea unui sistem se poate diagnostica pe baza acestui spectru, distingându-l în raport cu alte genuri de comportamente ale unui sistem care sunt caracterizate de alte tipuri de "zgomot" (Heath, 2000). El semnalizează existenţa într-o serie temporală a unor corelaţii la distanţă pe toate scalele (Gilden, 2001). Spectrul de putere 1/f e generat atunci când logaritmul puterii (a amplitudinii unei oscilaţii) şi frecvenţa oscilaţiei sunt relaţionate liniar, relaţia lor fiind reprezentată grafic ca având o pantă negativă. Zgomotul (fluctuaţiile) cu spectru de putere 1/f se mai numeşte şi zgomot roz, pentru că spectrul său de putere este similar cu cel al luminii colorate

care e percepută ca roz, având predominant unde de frecvență joasă și, într-o măsură mult mai mică, unde cu frecvență ridicată (Bertenthal, 2007). De fapt, fluctuațiile cu frecvențe mai ridicate, având o amplitudine mai scăzută, sunt încorporate (încadrate, integrate) în fluctuațiile cu frecvențe mai scăzute, dar cu amplitudini mai ridicate (Beltz și Kello, 2006). Pentru ca să avem un zgomot roz în adevăratul său sens, ar trebui ca, pe măsură ce se obțin noi măsurători, acest lucru să se întâmple la toate scalele temporale. Altfel spus, fluctuațiile din ce în ce mai mari le vor încorpora pe cele mai mici, iar acestea, la rândul lor, vor încorpora alte fluctuații încă și mai mici (prin extensie la infinit în ambele direcții), ceea ce reflectă proprietatea invarianței la scală, specifică unui fractal (Beltz și Kello, 2006). O consecință a acestei stări de fapt este aceea că fluctuațiile pe o anumită scală temporală corelează doar într-o anumită măsură, reflectând o relativă independență a proceselor de bază care acționează la diferitele scale temporale. Cu alte cuvinte, o perturbare localizată la o anumită scală temporală nu va afecta în mod obligatoriu stabilitatea sistemului la nivel global, sistemul fiind mai stabil și mai adaptativ la perturbațiile de orice tip (West și Schlesinger, 1989, în Delignières, Torre și Lemoine, 2005).

După cum indică Beltz și Kello (2006), în practică însă, e greu de evidențiat, cu certitudine, un spectru 1/f, pentru că măsurătorile vor fi limitate până la anumite scale, existând o graniță superioară și una inferioară. În plus, pentru frecvențe foarte ridicate, fluctuațiile pot fi puternic afectate de zgomotul alb al erorilor de măsurare.

Gilden, Thorton și Mallon (1995) arată că acest spectru a fost observat în sistemele de materie condensată, în fluxul traficului rutier, emisia quasarilor, revărsarea râurilor, structura secvenței de bază a ADN, automate celulare, în vorbire, muzică, procese cognitive etc.

O metodă specifică TSDN e *construirea spațului fază* al unui sistem dinamic și identificarea formei structurii atractoare, plecând de la seria temporală a valorilor măsurate pentru una dintre variabilele sistemului, adică așa numita *metodă Grassberg -Procaccia*, sau *metodă a coordonatelor întârziate*, elaborată în 1983 (Nowak și Lewenstein, 1994). Această tehnică se bazează, așa cum arată Nowak și Lewenstein (1994), pe *teorema lui Takens*, formulată de acesta în 1981. Ea indică modul în care se poate recupera forma originală a unui atractor folosind evoluția în timp a unei singure variabile a sistemului dinamic. Plecând de la aceasta, este posibilă reconstruirea întregului spațiu al fazelor, testarea tipului de

sistem (dacă e determinist sau nu), identificarea prezenței unui atractor și evaluarea dimensiunii acestuia, calcularea dimensiunii minime a spațiului fazelor în care atractorul este scufundat, adică dimensiunea de scufundare despre care s-a vorbit anterior (Codreanu, 2007). În concepția lui Nowak și Lewenstein (1994), la baza teoremei stă ideea că, în sistemele dinamice, influența tuturor variabilelor dinamice poate fi observată în istoria fiecăreia dintre ele. De aceea, momente diferite din evoluția unei singure variabile pot fi tratate ca indicând valorile altor variabile dinamice ale sistemului. Se justifică atunci procedura prin care diferite valori ale variabilei măsurate, situate la intervale egale de timp, sunt interpretate ca reprezentând, fiecare, câte o nouă coordonată a unui spațiu fază reconstruit al sistemului de bază. O secvență de astfel de valori ale unor puncte plasate la intervale egale de timp va defini un punct din spațiul fază, iar pe măsură ce timpul crește, acest punct se mișcă, descriind o traiectorie. Dacă traiectoria rezultată apare ca regulată, atunci avem un indiciu că sistemul este determinist. Practic, prin această metodă se construiește ceea ce se numește un *vector de întârziere*, adică un vector care este format pe baza valorilor din seria temporală care se află într-un interval de lungime fixă a seriei temporale. Acest vector va defini un punct într-un spațiu fază care are aceeași dimensionalitate ca și numărul elementelor seriei temporale care se află în acel interval fixat. Când nu se cunoaște dimensionalitate sistemului studiat se va încerca reprezentarea dinamicii în spații cu diferite dimensiuni și se alege, în final, spațiul în care forma unei dinamici apare în modul cel mai clar.

Dacă sistemul este aleatoriu, nu se va obține vreo formă regulată, indiferent de dimensionalitatea spațiului. În Fig. 27c, este prezentată, comparativ, proiecția în plan a dinamicii atractorului Lorenz față de cea a unei dinamici aleatorii după ce acestea au fost încorporate într-un spațiu tridimensional prin construirea unor vectori de întârziere cu trei valori succesive ale seriei temporale. Se constată că reprezentarea dinamicii care se obține pe baza unei singure variabile dinamice (cea punctată) este foarte asemănătoare cu cea care se bazează pe cea obținută în spațiul fază (cea continuă). Structurile atractoare în cele două cazuri sunt echivalente topologic. Așa cum remarcă Goertzel (1998), dinamica vectorilor de întârziere mimează dinamica sistemului original. Reprezentare dinamicii unui sistem prin vectori de întârziere, adică într-un spațiu care are ca și coordonate valorile succesive ale unei variabile dinamice (de exemplu: x_t

și $x_{(t+1)}$) se cheamă *graficul aplicației de întoarcere* (în engleză: "return map").

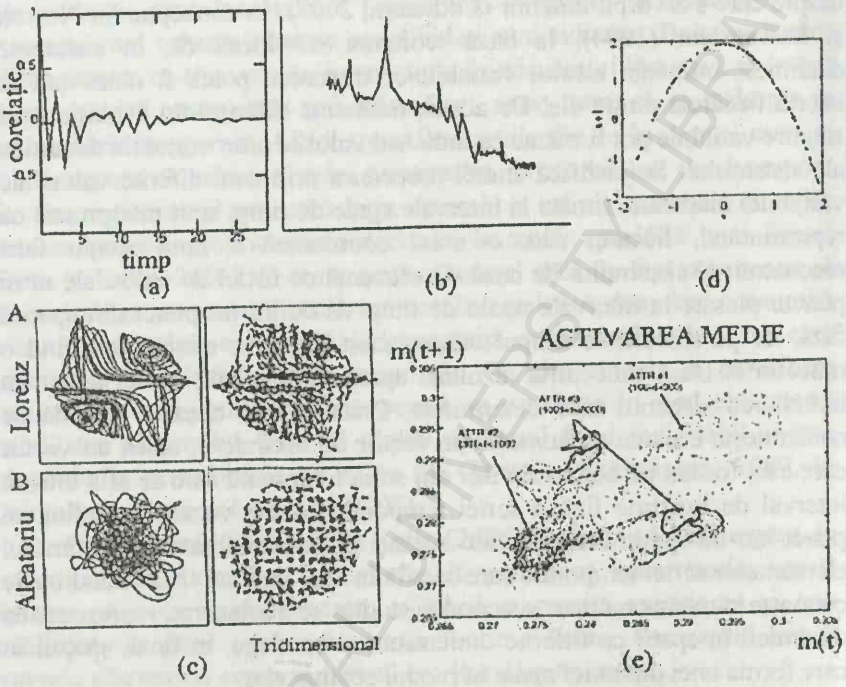


Fig. 27 Tipuri de reprezentări grafice pentru tehnicile de analiză a seriilor temporale: (a) *Funcția de autocorelație* pentru atractorul Hénon (după Weeks, 2003); (b) *Spectrul de putere* al unei dinamici haotice (după Nowak și Lewenstein, 1994); (c) Reprezentarea cu ajutorul *vectorilor de întârziere* corespunzători unui spațiu tridimensional a dinamicii atractorului Lorenz (A) și a unei dinamici aleatorii (B) (după Kaplan și Glass, în Nowak și Lewenstein, 1994); (d) Graficul *aplicației de întoarcere* pentru dinamica ecuației Grebogi (după Sardanyés, 2004); (e) Graficul *aplicației de întoarcere* pentru un proces dinamic care prezintă itinerantă haotică între trei atractori (după Quoy, Banquet și Daucéc, 2001)

De fapt, ea înseamnă o reprezentare a valorii curente a unei variabile dinamice în funcție de valori anterioare ale acesteia. Exemple ale

unei astfel de reprezentări se găsesc în Fig. 27d şi Fig. 27e. Primul exemplu este pentru un sistem dinamic abstract discret cu o singură variabilă dat de ecuaţia Grebogi: $x_{t+1} = 1.9 - x^2_t$. Al doilea este pentru un model dinamic al unei reţele neuronale capabile să genereze itineranţă haotică pentru care seria temporală e dată de valorile activării medii a reţelei pentru 2 000 de paşi, **m(t)** fiind activarea medie la momentul **t**, iar **m(t+1)**, activarea medie la momentul **t+1**. Se observă că sistemul dinamic al reţelei prezintă trei atractori (după modul de concentrare a norului de puncte), notaţi şi numerotaţi în figură, între care sistemul realizează tranziţii de tipul itineranţei haotice (după Quoy, Banquet şi Daucéc, 2001).

Pe scurt, prin reconstruirea spaţiului fază se trece de la un spaţiu unidimensional (cel al seriei temporale) la un spaţiu construit cu mai multe dimensiuni cu scopul de a afla informaţii cu privire la sistemul dinamic neliniar care a generat seria temporală (Codreanu, 2007).

În reconstruirea spaţiului fază două probleme sunt importante. Prima este aceea a găsirii dimensiunii de scufundare, adică a unui număr convenabil de variabile pentru reconstruirea spaţiului fazelor. Cealaltă este aceea a identificării unui interval de timp potrivit al întârzierii în construirea vectorilor de întârziere. Pentru prima dintre ele, în afară de metoda încercării şi a erorii şi a alegerii pe baza criteriului amintit mai sus, al clarităţii formei unui atractor, este util să se ţină cont de teorema lui Whitney (1936, cf. Codreanu, 2007). Conform acesteia, dimensiunea spaţiului de scufundare trebuie să fie mai mare decât dublul dimensiunii spaţiului fazelor al sistemului dinamic neliniar investigat. Aşa că, dacă ne aşteptăm ca acest sistem să aibă o anumită dimensionalitate, se va încerca reconstruirea unui spaţiu al fazelor de scufundare care să aibă un număr dublu de dimensiuni. O altă abordare este aceea propusă de Kennel şi Abarbanel (2002, cf. Sauer, 2006), care se bazează pe ideea că dacă toate punctele care sunt apropiate într-o dimensiune, rămân apropiate şi în următoarea dimensiune a spaţiului de scufundare, atunci s-a ajuns la dimensiunea potrivită (dezavantajul metodei ar fi însă acela că nu există un criteriu general acceptat pentru aprecierea apropierii punctelor). Pentru cea de-a doua problemă, deşi teorema lui Takens nu impune un anumit interval de întârziere (el putând fi arbitrar), dacă acesta este prea mic sau prea mare există riscul să apară deformări în reprezentarea punctelor în portretul de fază (Codreanu, 2005), atractorul fiind fie prea aplatizat, fie prea împrăştiat, umplând întregul spaţiu. Fraser şi Swiney (1986, cf. Codreanu, 2007) au propus metoda informaţiei mutuale, considerând că

este potrivit acel interval de timp, după care, prin măsurarea noii valori, este furnizată o nouă informație.

Construirea spațiului fază poate fi facilitată de o altă tehnică de analiză a seriilor temporale: calculul *dimensiunii corelaționale* (despre care s-a mai vorbit într-o secțiune anterioară). Aceasta e o măsură care cuantifică numărul de variabile independente (grade de libertate) ale sistemului care a generat o serie temporală analizată, oferind o evaluare cantitativă a complexității sale dimensionale (Molnár, Osman-Sági, Nagy și Kenéz, 1999). Cu ajutorul tehnicilor care permit calculul acestei măsuri, se poate analiza dacă sistemul generator este cu adevărat aleatoriu (având un număr infinit de variabile independente) sau dacă este caracterizat de un haos determinist (având câteva grade de libertate), după cum menționează Molnár, Skinner, Csépe, Winkler și Karmos (1995). Motivul ar fi acela că ea oferă o estimare a dimensionalității fractale a atractorului unui proces dinamic dacă acesta are vreunul. Cunoscând dimensionalitatea atractorului, va fi mai ușor, ulterior, să se reconstituie sistemul dinamic care a generat seria temporală pe baza căreia s-a calculat dimensiunea corelațională, folosind teorema lui Whitney, așa cum s-a văzut mai sus. S-au definit și alte modalități de măsurare a dimensionalității unei dinamici pe baza unei serii temporale, dar dimensiunea corelațională e cea mai frecvent utilizată, fiind și mai ușor de obținut.

Fiecare din tehnicile prezentate are avantajele și limitele ei, neexistând, actualmente, metode extrem de precise de identificare a dinamicii unui sistem pe baza seriilor temporale pentru cazurile în care sistemul este nestaționar, este haotic (comportamentul său fiind foarte greu de distins de comportamentul pur aleatoriu) sau când seria temporală are un număr redus de valori.

Dinamică simbolică

Dinamica simbolică este o metodă relativ veche, folosită pentru a descrie procesele dinamice și apoi de a le modela. Selz și Mandell (1994) menționează că ea a fost dezvoltată conceptual de către Martson Morse în 1917, existând însă și indicii că ar data încă din 1851.

Ea este o tehnică fundamentală, prin care sistemele haotice sunt traduse din formă geometrică într-o formă pur simbolică, astfel încât proprietățile lor vor fi mai ușor de analizat (van Gelder și Port, 1995). Shalizi (2006) consideră dinamica simbolică ca fiind o metodă utilă mai ales pentru a studia sistemele dinamice cu timp discret care au un spațiu stare continuu. Așa cum s-a menționat și mai sus, în partea introductivă,

când s-a discutat problematica reducției unui sistem dinamic la unul de tip simbolic, ideea de bază ar fi aceea de a lua spațiul stare și a-l partiționa într-un număr finit de regiuni (celule), fiecare regiune fiind apoi etichetată cu un simbol (Williams, 1991). Pentru fiecare punct din spațiul stare se va putea defini apoi o secvență infinită de simboluri care începe cu simbolul care este asociat partiției din care face parte. Secvența de simboluri ar corespunde secvenței de regiuni parcurse de traiectoria care pornește din acel punct. Astfel de secvențe vor putea fi ulterior studiate cu limbaje formale și chiar generate cu ajutorul unor automate abstracte.

În multe domenii de aplicație (cum ar fi și cel al psihologiei), nu se pot aplica cu multă acuratețe metodele specifice TSDN de analiză a seriilor temporale pentru că, datorită naturii fenomenelor investigate, nu este posibilă culegerea datelor în forma cerută de aceste metode. În astfel de situații, sunt preferate dinamica simbolică sau tehnici de analiză a dinamicii unor sisteme care au aceleași principii ca și ca sau unele similare (de exemplu, analiza spațiului stare după partiționarea sa printr-o grilă, propusă de Granic, Hollenstein, Dishion și Patterson, în 2003, care presupune calculul procentului de celulele străbătute de o traiectorie și al tranzițiilor dintre ele).

Modelarea dinamică

Modelarea dinamică este o cale de modelare a fenomenelor naturale ca sisteme dinamice. Etapele realizării unui model dinamic sunt, în concepția lui van Gelder și Port (1995), următoarele: specificarea metodei de izolare a sistemului, apoi a căii de măsurare a stărilor sistemului și, în final, formularea matematică a unei legi dinamice pentru a descrie comportamentul fenomenului studiat.

Dinamică de tip calitativ

Dinamica de tip calitativ este o metodă de analiză a unui fenomen natural care se bazează pe conceptele TSDN, dar care, spre deosebire de modelarea dinamică propriu-zisă, nu își propune să prezică valoare unor variabile dinamice care descriu un fenomen studiat. Așa cum remarcă van Gelder și Port (1995), obiectivul ei este doar acela de a determina caracteristicilor evoluției pe termen lung a unui sistem dinamic investigat. Dar, de multe ori, astfel de caracteristici, cum ar fi, de exemplu, stabilitatea unui sistem, sunt, potrivit autorilor mai sus citați, mai importante pentru o modelare dinamică decât predicția cu exactitate a unei anumite

stări a sistemului la un moment dat. În acest sens, foarte potrivit este un principiu (numit al incompatibilității) formulat de Zadeh (1973, în Dimitrov, 2000), întemeietorul logicii fuzzy, potrivit căruia: "Pe măsură ce complexitatea unui sistem crește, capacitatea noastră de a face afirmații precise și semnificative legate de comportamentul său scade până când se atinge un prag dincolo de care precizia și relevanța devin caracteristici aproape mutual exclusive".

Controlul unui sistem dinamic

În multe aplicații, cercetătorii pot fi interesați nu doar să descrie un sistem dinamic, dar și să-l controleze. Așa cum arată Arbib (1995), a controla un sistem dinamic înseamnă a găsi un input potrivit (adică o stare inițială sau anumite valori ale parametrilor de control) pentru un acesta, astfel încât el să ajungă să se comporte în modul dorit. Prin diverse metode de control se poate obține eliminarea comportamentului haotic al unui sistem dinamic neliniar, apariția unui comportament haotic (ceea ce se numește și anticontrol) sau sincronizarea a două sisteme cu comportament haotic.

Dinamica informației

Fenomenelor și proceselor dinamice li se atribuie, uneori, interpretări legate de conceptul de informație (după cum se poate constata din cele discutate în secțiunile anterioare), putându-se vorbi și de o dinamică a informației.

Astfel, pentru cazul sistemelor dinamice, s-a elaborat un concept de entropie specific, diferit de cel clasic: *entropia Kolmogorov-Sinai* (numită și entropie metrică), măsurând în ce măsură este haotic un sistem dinamic. După cum remarcă Codreanu (2007), o evoluție haotică generează în mod continuu informație nouă, datorită faptului că ea este impredictibilă. Mai precis, dacă se pornește de la două condiții inițiale care, datorită limitei în precizia de măsurare, nu pot fi inițial distinse, datorită divergenței traiectoriilor, ulterior, se va obține informația nouă că nu a fost o singură condiție, ci două, care erau confundate. Dar dacă sistemul nu este haotic, două condiții indiscernabile datorită limitelor preciziei în înregistrarea sau măsurarea lor vor genera traiectorii care nu pot fi distinse, lipsind orice informație că între ele există o diferență (Codreanu, 2007). Când sistemul va converge către un atractor cu punct fix se

vorbeşte de o pierdere a informaţiei, pentru că distincţia existentă între două condiţii iniţiale se va pierde în timp, prin evoluţia sistemului.

După cum specifică Codreanu (2007), calculul entropiei Kolmogorov-Sinai porneşte de la conceptul de entropie informaţională a unei partiţii a spaţiului fază. Fiecărei celule a unei partiţii i se poate ataşa o măsură probabilistă dată de fracţiunea de timp pe care sistemul o petrece în acea celulă. Pe măsură ce se folosesc partiţii cu celule din ce în ce mai mici, vor fi necesare mai multe date pentru a localiza o stare a sistemului în spaţiul fazelor atunci când nu se cunoaşte nimic despre aceasta, ceea ce înseamnă că entropia informaţională va creşte (Codreanu, 2007). Entropia Kolmogorov-Sinai este o valoare limită, care se obţine atunci când dimensiunea celulelor partiţiilor succesive scade progresiv, la infinit, ea măsurând rata medie de creştere în timp a informaţiei. Va rezulta o valoare finită doar dacă entropia fiecărei partiţii creşte la fel ca şi numărul partiţiilor sau, cu alte cuvinte, dacă numărul celulelor dintr-o partiţie creşte exponenţial odată cu creşterea numărului de partiţii succesive (Codreanu, 2007).

Se discută şi de comprimarea informaţiei. Astfel, atunci când comportamentul unui sistem dinamic se schimbă calitativ, în punctele sale de instabilitate, comportamentul său va putea fi descris fără să mai fie nevoie să se specifice valoarea tuturor variabilelor dinamice. În această situaţie vor fi suficiente doar valorile parametrilor de ordine, reducându-se cantitatea de informaţie cerută pentru a specifica starea sistemului (Haken 2003a). În consecinţă, parametrii de ordine, care sunt variabile care se schimbă brusc, neliniar, sunt mai importanţi din punct de vedere informaţional decât variabilele dinamice (Kelso, 2003).

Transferul informaţiei poate fi interpretat dinamic ca bazându-se pe procese de difuziune în cadrul unor sisteme dinamice complexe (Haken, 2003a).

Noţiunea însăşi de informaţie este reconceptualizată în lumina principiilor TSDN, astfel încât ea nu mai e considerată ca fiind ceva exterior, clar definit, ci ca existând doar în măsura în care modifică sau este modificată de dinamica unui sistem (Kelso, 2003). Chiar originile informaţiei, generarea ei, sunt puse de Kelso (2003) pe seama unui regim metastabil existent într-un sistem dinamic complex. Orice fluctuaţie sau schimbare a unor parametri va facilita sau va împiedica apariţia stărilor coordinative ale sistemului, stări care, potrivit lui Kelso (2003) "sunt în mod intrinsec cu sens", pentru că astfel se comunică relaţia dintre părţile componente ale unui sistem.

După ce mai sus s-a realizat o trecere în revistă a conceptelor fundamentale care se pot întâlni în TSDN, a proprietăților sistemelor dinamice neliniare, vom prezenta câteva exemple de sisteme dinamice mai cunoscute, reprezentative.

Exemple de sisteme dinamice

Un exemplu de sistem dinamic discret extrem de simplu și oarecum atipic este acela al unei *aplicații logistice discrete,* care se mai numește *modelul creșterii limitate* (Clayton, 1997). Pentru că are doar o singură variabilă care se influențează pe ea însăși, schimbându-se în timp, s-ar putea crede că nu este un sistem dinamic obișnuit, de vreme ce nu are mai multe elemente care interacționează. Pe de altă parte, el are lege dinamică, îl îndreptățește să fie, totuși, un sistem dinamic. Ecuația care descrie evoluția sa dinamică este: $x(t+1) = r\,x(t)\,[1-x(t)]$, unde **r** este un parametru de control care variază în intervalul [0,4], iar timpul **t** e definit pe mulțimea numerelor naturale. Ea a fost folosită într-un număr mare de aplicații, cum ar fi, de exemplu, modelarea proceselor de creștere (de exemplu, a populațiilor în condițiile unor resurse limitate sau a răspândirii unei boli molipsitoare în epidemiologie), a memoriei de lucru (Clayton și Frey, 1995) sau a procesului dezvoltării psihice (van Geert, 1994). În general, aplicația logistică este întâlnită în cele mai diverse domenii: dinamica populațiilor, ecologie, sociologie, economie, psihologie, medicină etc. În ciuda simplității ecuației, pentru diverse valori ale parametrului de control, comportamentul unui astfel de sistem este destul de complicat (până la a fi haotic) și se poate schimba semnificativ (vezi Fig. 28). Astfel, atunci când parametrul **r** e mai mic de 1, seria temporală va tinde către valoarea zero, ca un singur punct atractor, indiferent de valoarea inițială a lui **x**. Când **r** e cuprins în intervalul dintre 1 și 3, seria temporală va evolua spre o singură valoare, adică un punct atractor, diferit de zero. Valoarea lui va depinde de valoarea de pornire a lui **z**. Pentru valori ale lui **r** mai mari de 3, când **r** = 3,2 seria temporală va alterna, în final, între două valori, adică va ajunge la un atractor ciclic cu două puncte. Pentru **r** = 3,54, perioada de alternare se va dubla, ajungându-se la un atractor ciclic din patru puncte. Pentru **r** = 3,99, seria temporală va ajunge să aibă o evoluție haotică. Se poate observa pe diagrama de bifurcație din Fig. 28, cea în care se arată comportamentul sistemului pentru diferite valori ale parametrului **r**, că între valorile mai sus menționate sistemul trece, succesiv, prin regimuri dinamice diferite,

revenind, de exemplu, la cicluri mai mici, după ce, pentru o valoare anterioară, tindea să se stabilizeze în cicluri mai lungi sau în cicluri haotice.

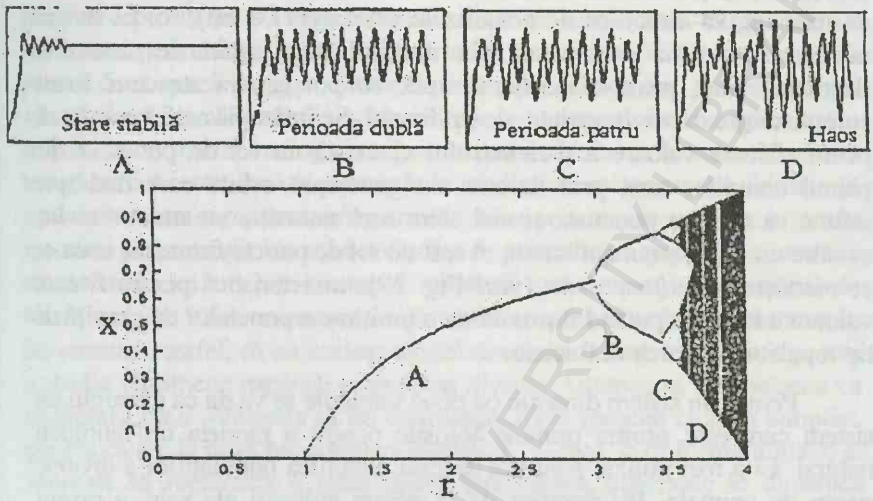


Fig. 28: Diagrama de bifurcație pentru aplicația logistică discretă (după Clayton, 1997)

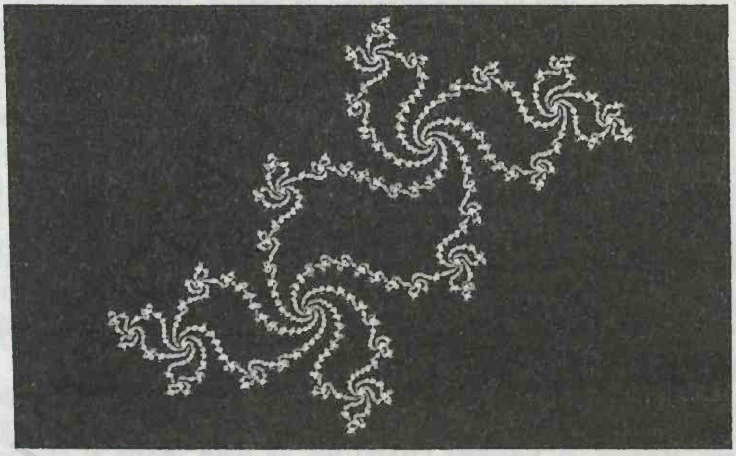


Fig. 29: Mulțime Julia generată prin aplicația cuadratică pentru **c** = -0.2-0.7i (după Becker, 2003)

Un alt exemplu, mai special, de sistem dinamic cu o singură variabilă este cel menționat de Sardar și Abrams (2002), în care variabila dinamică **z** și parametrul de control **c** sunt numere complexe (imaginare) și unde regula dinamică de actualizare este $z(t+1) = z(t)^2+c$. El se mai numește *aplicația cuadratică*. Cu ajutorul unui astfel de sistem se ilustrează cum, printr-o iterație simplă, se pot genera structuri foarte complexe și extrem de variate, de tip fractal. Se întâmplă astfel pentru că, pentru fiecare valoare a parametrului **c**, există un set de puncte **z** din planul complex care, prin iterație, nu generează orbite care tind spre infinit, ca atractor punctual, și nici către zero sau către un atractor ciclic, ci către un comportament haotic. Acest de set de puncte formează ceea ce se numește o *mulțime Julia* (vezi Fig. 29), caracteristică pentru fiecare valoare a lui **c**, ea putând fi privită ca o mulțime a punctelor de graniță de tip repulsor cu structură fractală.

Pentru un sistem dinamic cu două variabile se va da ca exemplu un sistem care este printre primele folosite pentru a modela un fenomen natural. El a fost utilizat pentru a descrie dinamica populațiilor a diverse specii de animale. Plecându-se de la aceste aplicații ale sale, a primit denumirea de *modelul prădător – vânat*. Romero și Vázquez (1998) arată că nu se poate analiza modul de evoluție a unei specii în mod independent de evoluția altora, mai precis a speciilor pe care le vânează și a celor de care e vânată. Cele două variabile dinamice ale sistemului, x și y, reprezintă una numărul de animale dintr-o specie și cealaltă numărul de animale dintr-o specie vânată de ea într-o anumită regiune. Ecuațiile care descriu o astfel de situație sunt, conform lui Romero și Vázquez (1998), de tipul următor: $dx/dt = f(x,y)$; $dy/dt = g(x,y)$. Autorii mai sus citați menționează ca și condiții care trebuie impuse în mod evident funcțiilor f și g următoarele: $f(0,y) = 0, y \in R^+$; $f(x,0) = 0, x \in R^+$; $f(0,0) = g(0,0) = 0$. Primele două condiții se referă la situația în care una dintre populații dispare, când funcția care definește modul său de creștere se va anula. Ultima condiție este aceea ca funcțiile care sunt în mod identic nule să fie soluții staționare ale ecuației.

O specificare a modelului a fost dată de către doi matematicieni, după care s-a și dat numele acestui model dinamic clasic: *modelul Lotka-Volterra*. Romero și Vázquez (1998) fac un scurt istoric al elaborării acestui model matematic, care a fost formulat la începutul secolului XX, în jurul anului 1925. El este instructiv pentru că oferă o imagine a modului în care, uneori, modelele dinamice s-au născut pentru a răspunde

unor necesităţi concrete sau pentru a înţelege mai bine anumite fenomene concrete investigate. Matematicianul italian Vito Volterra, care începuse să studieze sistemele ecologice, a fost solicitat de un biolog italian să rezolve o problemă cu care se confruntase: el nu-şi putea explica de ce reducerea pescuitului în Marea Adriatică nu a fost la fel de benefică pentru două specii de peşti, dintre care una era prădătoare, iar cealaltă era vânată. Însă, aproximativ în acelaşi timp, şi matematicianul englez Lotka a ajuns la un model analog cu cel conceput de Volterra în scopul mai sus menţionat. Acesta, însă, a plecat de la studiul anumitor reacţii chimice în care apărea un comportament periodic în concentraţiile pe care le aveau reactivii şi reactanţii. Un model similar se poate folosi şi pentru a modela, de exemplu, şi relaţiile dintre o variabilă care reprezintă numărul de clienţi pe care îi are un restaurant şi calitatea serviciului în acel restaurant. Se constată, astfel, că un acelaşi model dinamic matematic a servit pentru a studia fenomene naturale extrem de diverse. Ulterior, a fost necesar ca modelul Lotka –Volterra să fie completat, fiind apreciat ca prea simplist, pentru că are la bază presupuneri nerealiste. Totuşi, şi în forma iniţială, el reuşeşte să reproducă o parte dintre fenomenele observate în dinamica relaţiilor dintre o specie prădătoare şi o alta vânată. Conform lui Romero şi Vázquez (1998), formularea modelului a plecat de la următoarele ipoteze generate prin analiza logică a problemei în cauză.

1) Specia vânată, în absenţa vreunui peşte prădător ($y = 0$), va evolua în mod natural după un model continuu unidimensional. În cazul cel mai simplu, e vorba de un model malthusian, în care rata de creştere a populaţiei speciei e relativ constantă şi e egală cu a, $a > 0$: $x' = ax(t)$, unde x' reprezintă derivata în punctul x la momentul t.

2) Efectul speciei prădătoare va fi acela de reducere a ratei de creştere raportată la un individ din specia vânată într-o cantitate proporţională cu numărul peştilor prădători în fiecare moment: $x' = ax(t) - bx(t)y(t)$.

3) În absenţa speciei vânate ($x = 0$), prădătorii mor cu o rată de mortalitate relativ constantă $c > 0$: $y' = -cy(t)$.

4) Contribuţia speciei vânate la rata de creştere relativă a speciei de prădători e proporţională cu numărul indivizilor din specia vânată în fiecare moment:

$$y' = -cy(t) + dx(t)y(t).$$

Pe baza ipotezelor de mai sus, se ajunge la sistemul dinamic autonom alcătuit din următoarele două ecuaţii diferenţiale: $dx/dt = ax - bxy$;

dy/dt = -cy+dxy, unde a, b, c şi d sunt constante pozitive. Autorii citaţi apreciază că, în acest caz, ca şi în altele, termenii în care apare produsul *x(t)y(t)* pot fi interpretaţi din punctul de vedere al unui echilibru energetic care se stabileşte între două surse de energie, ei reprezentând conversia unei energii dintr-o sursă în energia celeilalte surse. Termenul *bxy* ar indica energia care e luată de la specia vânată pentru a o da prădătorilor. Termenul *dxy* ar reprezenta contrariul, energia pe care o obţine specia prădătoare de la specia vânată.

Un astfel de sistem are două puncte de echilibru, aşa numitele soluţii staţionare. Acestea sunt: O = (0, 0) şi P = (c/d, a/b) = (m_x, m_y), unde m_x şi m_y reprezintă media pentru x, respectiv pentru y, pentru fiecare perioadă de timp T. Soluţiile nestaţionare ale sistemului sunt destul de intuitive, fiind reprezentate de traiectorii închise în planul spaţiul fază aflate în jurul punctului P, adică e vorba de oscilaţii în jurul punctului definit de media celor două populaţii. Amplitudinea şi frecvenţa acestor oscilaţii depind, conform modelului, de condiţiile iniţiale. În Fig. 30 pot fi vizualizate astfel de traiectorii ciclice în spaţiul fază al sistemului dinamic.

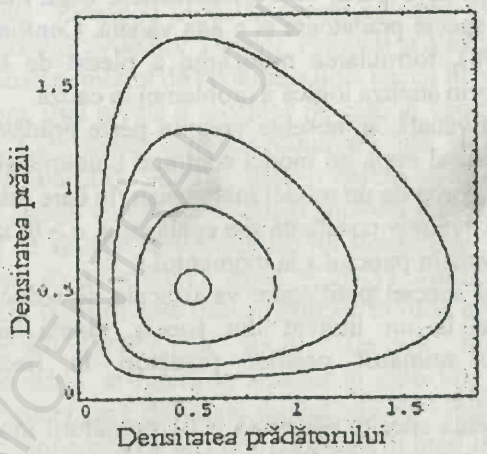


Fig. 30: Traiectorii ciclice în spaţiul fază pentru modelul Lotka -Volterra, pentru patru valori iniţiale diferite (după Bettelheim, 2000)

Modelul Lotka-Volterra este apreciat de Romero şi Vázquez (1998) ca fiind o schiţă simplă pentru a descrie interacţiunea unor populaţii care

se află într-un raport de prădător-vânat, care dă naştere la evoluţii oscilante ale celor două populaţii: când populaţia speciei vânate creşte, se alimentează şi creşterea speciei prădătoare, dar când creşte aceasta, începe să scadă populaţia speciei vânate. Când aceasta scade, va începe să scadă şi populaţia prădătorilor, care atunci când va fi suficient de mică va face să crească din nou specia vânată şi apoi ciclul începe din nou. Aşa cum s-a arătat şi mai sus, astfel de comportamente ciclice pot fi recunoscute în multe alte situaţii diverse din lumea reală. Ele ar fi caracteristice situaţiilor în care apare o competiţie între două procese. Totuşi, potrivit autorilor citaţi, modelul are doar o valoare calitativă şi nu şi una cantitativă, din cauza asumpţiei că dacă populaţiile nu ar interacţiona, atunci ele ar creşte exponenţial. El a putut explica calitativ fenomenul pentru care a fost formulat iniţial, cel semnalat de biologul italian. Ca urmare, rata de creştere pentru specia vânată va fi $a - k$, k fiind constanta proporţională asociată pescuirii speciei vânate. Pentru specia prădătoare, constanta corespunzătoare va fi h. Rata pescuirii va regla, prin urmare, interacţiunea dintre specii, conform următorului sistem dinamic de ecuaţii neliniare: $dx/dt = (a - k)x - bxy$; $dy/dt = -(c+h)y - dxy$. Populaţia medie a speciei vânate, indiferent de datele iniţiale, va fi $(c+h)/d$, pe când populaţia medie a prădătorilor va fi $(a-k)/b$. În consecinţă, exploatarea prin pescuit va duce la scăderea prezenţei medii a speciei prădătoare, în timp ce creşte populaţia medie a speciei vânate. În cazul opririi pescuitului, efectul va fi invers. Acest efect se numeşte principiul Volterra. El a fost aplicat unei alte situaţii asemănătoare, aceea a raportului dintre insectele dăunătoare şi păsările care le mănâncă pe acestea atunci când se folosesc insecticide, care afectează ambele specii. Conform principiului Volterra, se va ajunge la un efect contrar celui dorit iniţial, în sensul că, pe termen mediu, numărul insectelor dăunătoare nu va scădea, ci chiar va creşte, iar numărul păsărilor va scădea.

Romero şi Vázquez (1998) prezintă câteva din căile de îmbunătăţire a modelului Lotka-Volterra. Una dintre ele ar fi aceea că trebuie să se renunţe la presupunerea că populaţia vânată ar creşte în mod indefinit şi că apetitul prădătorilor este nelimitat. De aceea, modelul ar trebui să indice răspunsul speciei prădătoare la variaţiile speciei vânate şi existenţa unei condiţii în care să apară un grad de saturare a prădătorului, care să fie limitat de numărul indivizilor din specia vânată. O altă îmbunătăţire ar fi aceea a includerii unor termeni în model care să garanteze existenţa unei capacităţi maxime de asigurare a resurselor de către mediu. O astfel de

situație apare în legea de creștere logistică (prezentată mai sus). Completat astfel, modelul generalizat va fi mai sofisticat, traiectoriile sale deosebindu-se de cele din modelul anterior. Ele se vor schimba calitativ în funcție de modificarea constantelor care apar în model. Aceste traiectorii pot descrie fie o spirală în jurul unui punct care reprezintă o soluție staționară, fie vor tinde, în final, către o aceeași evoluție ciclică stabilizată (apărând un comportament oscilatoriu, la fel ca în modelul clasic, dar de data aceasta stabilizat). Comportamentul oscilatoriu (caracterizat prin stabilitate) tinde să producă în situația în care când rata creșterii prădătorilor scade suficient de mult, fără ca cea a speciei vânate să se modifice mult. Invers, în situația în care sporește rata de creștere a speciei vânate, cea a prădătorilor menținându-se relativ neschimbată, se reduce posibilitatea apariției unui comportament oscilatoriu stabilizat.

Așa cum arată Romero și Vázquez (1998), tot prin modele dinamice neliniare au fost descrise relațiile dintre specii și în alte situații. Una dintre ele ar fi aceea a competiției dintre două specii care concurează pentru aceleași resurse limitate, caz în care creșterea uneia inhibă creșterea alteia. Pe baza modelului dinamic care s-a formulat pentru a descrie această situație s-a enunțat așa numitul *principiu al excluziunii competitive*, care afirmă că, date fiind două specii care concurează pentru aceleași resurse limitate, întotdeauna una din ele va dispărea în final, ceea ce, în alți termeni, înseamnă că două specii nu pot ocupa aceeași nișă ecologică. O altă situație dinamică este cea în care interacțiunea dintre specii duce la efecte benefice pentru ambele, ceea ce se numește simbioză. Mai există alte două situații posibile. Prima este aceea în care o specie beneficiază de pe urma alteia, pe când aceasta din urmă nu este nici afectată, nici nu beneficiază în vreun fel în urma acestei interacțiuni. A doua situație este aceea când prin interacțiunea dintre specii este afectată doar una dintre ele (adică o competiție unilaterală). În funcție de valorile constantelor care apar în modele și de condițiile inițiale, s-a putut stabili, pe baza modelelor dinamice, ce tipuri de evoluție a celor două specii pot să apară din interacțiunea lor.

Prezentarea făcută de Romero și Vázquez (1998) modelului Lotka-Volterra și căilor de generalizare și îmbunătățire ale acestuia poate servi ca un exemplu prototipic pentru orice demers de modelare a unui fenomen natural prin folosirea TSDN. Tocmai de aceea, în cele de față, i s-a acordat un spațiu mai extins.

Pentru a ilustra cazul sistemelor dinamice cu trei variabile, vom apela la exemplul celebru al modelului elaborat de Lorenz (1963, cf.

Codreanu, 2007) pentru a descrie fenomenele meteorologice. Acesta, făcând simulări pe calculator prin care încerca să realizeze prognoze meteo, a constatat că, introducând din greşeală datele iniţiale cu numai câteva zecimale mai puţin, traiectoriile astfel generate se deosebeau radical de cele anterioare. A evidenţiat astfel, pentru prima dată, ceea ce mai târziu s-a numit "efectul fluture", adică fenomenul sensibilităţii la condiţiile iniţiale, o proprietate esenţială a oricărui atractor haotic. Sistemul este alcătuit din următoarele trei ecuaţii: $dx/dt = a(y-x)$; $dy/dt = x(b-z) - y$; $dz/dt = xy - cz$ (după Clayton, 1997), iar atractorul său straniu din spaţiul fază se poate vedea în Fig. 31.

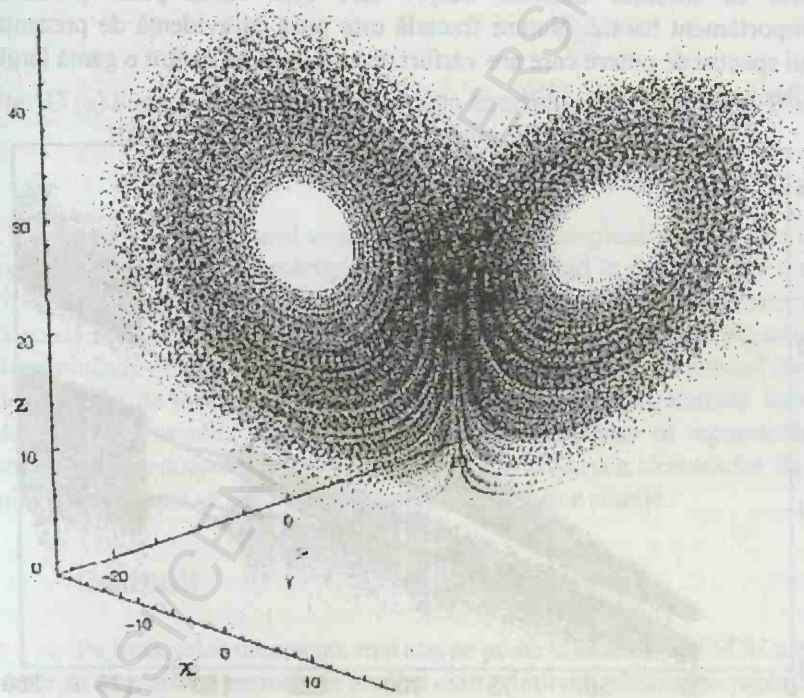


Fig. 31: Atractorul Lorenz când valorile parametrilor de control sunt: a=10, b=28, c=8/3, iar condiţiile iniţiale sunt (5,5,5) (după Dartnell, 2006)

Pentru a vizualiza dinamica acestui sistem şi forma diferită pe care o ia atractorul prin schimbarea parametrilor de control se poate vizita site-ul http://www.exploratorium.edu/complexity/java/lorenz.html.

În Fig. 32 este prezentată diagrama de bifurcaţie pentru sistemul dinamic care prezintă atractorul Lorenz. Se observă că pentru anumite valori ale parametrului de control şi acest sistem poate avea comportamente periodice.

Funcţia de autocorelaţie şi spectrul de putere care au fost obţinute pentru serii temporale produse de sistemul dinamic care generează atractorul Lorenz sunt prezentate în Fig. 33. După cum se vede în cele două figuri, scăderea lentă către zero, caracteristică amândurora, indică faptul că sistemul dinamic despre care este vorba poate prezenta comportament haotic. Natura fractală este pusă în evidenţă de prezenţa unui spectru de putere care are vârfuri de amplitudine pentru o gamă largă de frecvenţe (vezi Fig. 33b).

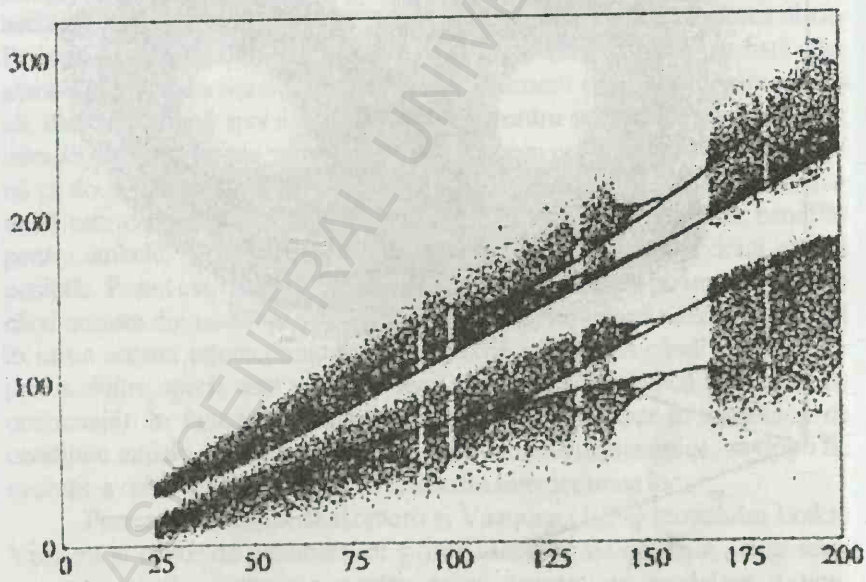


Fig. 32 Diagrama de bifurcaţie pentru atractorul Lorenz (după Sardanyés, 2004)

BCU IAŞI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

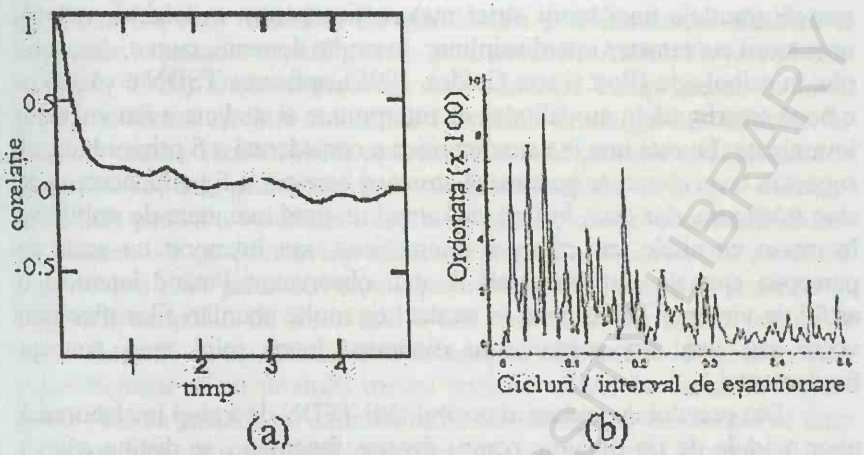


Fig. 33 (a) Funcția de autocorelație pentru atractorul Hénon (după Weeks, 2003); (b) Spectrul de putere al unei dinamici haotice (după Nowak și Lewenstein, 1994)

Pentru a ilustra cazul sistemelor dinamice complexe se va utiliza un exemplu mai intuitiv și prototipic, acela al unui lichid în curgere, care e un sistem alcătuit dintr-un număr extrem de mare de molecule care interacționează între ele (fiecare moleculă putând fi privită ca un sistem dinamic), determinându-și reciproc mișcarea. În funcție de parametrii de control (dați, de exemplu, de forma albiei) în fluxul lichidului vor apărea anumite forme de curgere constante, vârtejurile, care pot fi considerate ca reprezentând structurile atractoare ale sistemului. Astfel, din dinamica elementelor de la nivel microscopic se nasc la nivel macroscopic forme stabile.

Concluzii

Pe baza celor prezentate mai sus se poate conchide că TSDN are o serie de concepte și metode de analiză care o individualizează în raport cu alte abordări de tip sistemic, cum sunt cele de tip cibernetic sau care se bazează pe sisteme formale statice. De asemenea, ele o individualizează și în raport cu alte teorii matematice, având un potențial ridicat de a contribui la elaborarea unor modele calitative, nu doar cantitative, pentru o gamă foarte diversă de fenomene naturale. Astfel, ea ajunge să depă-

şească graniţele unei teorii strict matematice pentru a dobândi virtuţile unei teorii cu caracter interdisciplinar. În multe domenii, cum e, de exemplu, în psihologie (Port şi van Gelder, 1995), aplicarea TSDN e văzută ca o nouă paradigmă în modalitatea de interpretare şi studiere a fenomenelor investigate. Ea este una în care dinamica e considerată a fi primordială, ca suport în baza căruia se generează structuri care par a fi permanente şi de sine stătătoare, dar care, în fapt, au numai un grad mai mare de stabilitate în raport cu altele, cu care pot interacţiona, sau în raport cu scala de percepţie spaţială sau temporală a unui observator. Putând întemeia o astfel de viziune, TSDN vine în contact cu multe abordări filosofice mai vechi sau mai noi pentru care dinamica joacă rolul unui concept fundamental.

Din punctul de vedere al posibilităţii TSDN de a sluji la elaborarea unor modele de tip dinamic pentru diverse fenomene, se disting câteva din avantajele pe care le oferă ca instrument pentru realizarea unui astfel de scop. Un prim avantaj de acest gen ar fi acela că o modelare de tip dinamic poate încorpora, în acelaşi model, deopotrivă aspectele continue şi cele discrete ale unui fenomen studiat, cele cantitative şi cele calitative. Deşi aspectul discret, cel calitativ, pare a fi apanajul metodelor de tip clasic, simbolic formale, în cadrul sistemelor dinamice neliniare el primeşte variate interpretări. De exemplu, poate fi văzut ca o delimitare în spaţiul stare a bazinului de atracţie al unui atractor sau a unui atractor, ca tranziţie între atractori sau ca tranziţie prin bifurcaţie între regimuri dinamice diferite ale sistemului dinamic. În plus, TSDN oferă criterii pentru clasificarea tipurilor posibile de comportament al sistemelor deterministe care evoluează în timp, indiferent de natura lor, şi anume: tipul de atractori, profilul spaţiului stare, tipurile de bifurcaţii şi catastrofe posibile.

O abordare bazată pe TSDN poate aduce contribuţii specifice de natură metodologică, referitoare la demersul experimental tradiţional şi la tehnicile de analiză statistică a datelor, evidenţiindu-le limitele şi propunând căi de îmbunătăţire a acestora.

Studiul unui sistem dinamic complex care are un comportament haotic cu ajutorul unei metode experimentale de tip clasic poate conduce la rezultate neconcludente. Aceasta pentru că posibilităţile limitate de control al altor variabile independente decât cele relativ puţine luate în considerare de un experimentator pot avea consecinţe imprevizibile, chiar majore asupra variabilelor dependente, şi nu neglijabile, aşa cum se

presupune (în baza tehnicilor de eşantionare şi a distribuţiei aleatorii a subiecţilor în grupele experimentale şi de control). Astfel, Hoyert (1992, în Heath, 2000) arată că varierea unei variabile independente în mod izolat este sortită eşecului atunci când sistemul investigat este neliniar. În astfel de cazuri, Heath (2000) apreciază că e de preferat analiza seriilor temporale obţinute prin observarea comportamentului în timp a sistemului studiat pentru a evidenţia relaţiile temporale dintre observaţii succesive. Astfel s-ar putea releva şi influenţa pe care o variabilă independentă o are asupra unor parametri care reprezintă modul în care se schimbă în timp seria temporală de observaţii. O altă remarcă ar fi aceea că pentru un sistem dinamic de tip neliniar este de aşteptat ca o variabilă independentă experimentală să nu producă mereu aceleaşi efecte în variabila dependentă, acestea putându-se schimba radical în funcţie de momentul de timp la care acţionează o variabilă independentă (mai precis de starea în care se găseşte în acel moment sistemul investigat). De aceea, s-ar impune studierea efectelor în timp ale unei variabile independente prin aplicarea sa în mod repetat, la intervale regulate de timp sau când sistemul studiat se găseşte în stări diferite, şi nu doar o singură dată, cum se procedează de obicei.

O abordare dinamică sugerează şi studiul unor noi tipuri de variabile dependente cum ar fi aceea a gradului de stabilitate a unui sistem (care poate fi abordată prin prisma varianţei în jurul valorii medii, a timpului de relaxare, adică de revenire la starea iniţială după o perturbaţie) sau a modelului comportării sale în timp, descris printr-un parametru de ordine în cazul sistemelor complexe.

De asemenea, dintr-o perspectivă dinamică, noţiunile de variabilă independentă şi variabilă dependentă pot primi noi interpretări. Pentru un sistem dinamic, parametrii de control sau stările iniţiale ar reprezenta variabile independente, iar ca variabilă dependentă ar figura starea sistemului la un moment dat, traiectoria sa, atractorul în care se poate stabiliza traiectoria, modelul comportamentului său general în timp (dat de portretul fază sau de evoluţia parametrilor de ordine), stabilitatea unui anumit atractor. Timpul ca atare, conform lui Gheorghiu (2004), poate fi abordat ca o variabilă independentă a oricărui sistem dinamic studiat. Chiar şi zgomotul este posibil să dobândească statutul de variabilă independentă. Aceasta pentru că, un avantaj al TSDN ar fi acela că, prin conceptele sale, oferă posibilitatea de a explica modul în care un input nespecific, cum e cazul zgomotului, are efecte structurante pentru un sistem, permiţând

apariția unor schimbări calitative în acesta prin bifurcații sau tranziții între atractori.

În plus, chiar dinamismul intrinsec al unui sistem poate să fie o cauză a schimbării unui comportament al său și nu doar modificarea unei variabile independente sau zgomotul, ca variație aleatorie a altor factori externi care pot influența sistemul. O consecință de ordin metodologic care se referă la demersul experimental ar fi aceea că o modelare de tip dinamic acordă un alt statut erorilor de măsurare (Gilden, 2001), în sensul că dacă un comportament al unui sistem studiat pare aleatoriu, explicațiile că sistemul însuși este aleatoriu sau că s-au făcut mari erori la măsurare nu mai sunt singurele posibile. Justificarea alternativă, bazată pe TSDN, ar fi aceea că este posibil ca sistemul să fie unul determinist și erorile la măsurare să fi fost mici, pentru că variabilitatea mare în timp a datelor colectate se datorează nu lor, ci unei dinamici de tip haotic a sistemului investigat. Față de cazul erorii de tip clasic, datorate zgomotului, este vorba, în situația dinamismului haotic, de o varietate în date care poate să dispară uneori rapid, cu un efort redus, printr-o modificare minoră a unui parametru de control al acelui sistem. De aceea, o mare parte din ceea ce se consideră a fi eroare de măsurare este posibil să mascheze o dinamică haotică a unui fenomen studiat, ea fiind, în fapt, purtătoare de informație. Nu este ceva care trebuie neglijat sau înlăturat, ci ceva care trebuie analizat ca atare. În acest caz, încercările de a reduce variabilitatea datelor prin creșterea preciziei în măsurare sunt sortite eșecului, iar neutralizarea lor prin reducerea la medie aduce o pierdere semnificativă de informație cu privire la acel fenomen. Practic, o abordare dinamică oferă o a treia cale de a concepe comportamentul în afară de cele două existente până acum: determinist și predictibil sau probabilist și impredictibil. Ea ar fi una de genul determinist, dar impredictibil, adică comportamentul caracteristic sistemelor haotice. Un astfel de sistem, deși este impredictibil, la fel ca cele aleatoarii, este, spre deosebire de acestea, controlabil. În plus, față de sistemele deterministe clasice, sistemele haotice au un grad ridicat de flexibilitate și adaptabilitate, ceea ce le face atractive pentru cei care modelează sisteme cu astfel de proprietăți. Un comportament ca cel haotic poate explica de ce, de multe ori, la nivelul datelor obținute prin măsurarea cu o precizie ridicată a unor fenomene se obține un amestec de regulat și neregulat, care e dificil de interpretat în afara unei abordări bazate pe TSDN.

Așa cum s-a văzut și mai sus, TSDN aduce câtva contribuții specifice în tehnica de analiză a datelor, mai ales cu privire la analiza

seriilor temporale. După cum arată Heath (2000), tehnicile statistice tradiționale nu au fost niciodată adecvate pentru a studia dinamica unor fenomene. Pentru că zgomotul aleatoriu poate camufla neliniaritatea unui sistem, e nevoie de tehnici sofisticate pentru a reuși distingerea între cele două în seriile temporale de date și acestea sunt furnizate de TSDN. În opinia lui Popescu (2000), o analiză a datelor care să se bazeze pe TSDN înseamnă o recunoaștere explicită că ordinea în care apar observațiile e importantă și merită analizată în sine. Această analiză a dependenței statistice în timp a datelor experimentale se face, de obicei, plecând de la calculul corelațiilor dintre observații succesive ale unei serii temporale.

Cele de mai sus au fost doar câteva considerații cu privire la schimbările de perspectivă pe care TSDN le poate aduce asupra metodelor de studiu folosite în mod curent actualmente în diverse științe, mai ales asupra metodei experimentale. O investigare mai extinsă a implicațiilor pe care le au conceptele TSDN asupra metodologiei se poate găsi într-un studiu anterior (Faiciuc, 2001).

La nivel paradigmatic, TSDN este importantă pentru că a repus în discuție vechile dezbateri cu privire la timp și spațiu, materie și energie, virtual și actual sau determinism. E o nouă abordare și asupra staticului, care nu mai e văzut ca fiind rupt de dinamic, ci ca un rezultat temporar al dinamicului. Nemișcarea este interpretată ca efect al unor mișcări opuse care se echilibrează reciproc. Ideea de dinamism implică nu doar o urmărire în timp a fenomenelor studiate pentru a determina paternul evoluției lor, ci și o concepere a acestuia ca rezultantă a competiției dintre mai multe regimuri dinamice. Principiul de bază al unei abordări dinamice este că nu se poate studia ceea ce e invariant ignorând schimbarea, mișcarea. Dacă într-o abordare de tip clasic se pornește de la static ca noțiune primitivă pentru a reconstitui dinamicul, pentru a ajunge la schimbare, într-o abordare dinamică se pornește de la schimbare, de la mișcarea continuă ca noțiune primitivă, pentru a se reconstitui staticul. Dintr-o astfel de perspectivă, stocarea informației ar putea fi văzută ca nefiind posibilă exclusiv la nivelul elementului static, în starea unui sistem, ci și la nivel dinamic, prin modul în care un proces influențează un alt proces.

Abordarea dinamică are în centrul său și ideea de dinamism intrinsec, utilă pentru înțelegerea acelor sisteme care prezintă un grad ridicat de autonomie în comportamentul lor. În astfel de sisteme există output (comportament) și în absența inputului, a unei stimulări imediat anterioare, sau, mai precis, outputul are o durată și o formă care nu e determinată exclusiv de input. Ideea dinamismului intrinsec în cazul sistemelor nelini-

are poate explica în mod unitar o serie de fenomene posibile: de ce o influență externă majoră nu produce nici o schimbare în sistem, dar în alt context, când sistemul se află în altă stare sau chiar în aceeași stare, dar în cadrul altui regim dinamic, ea produce un efect asupra sistemului; de ce o influență minoră determină o schimbare majoră în cadrul sistemului; de ce o influență externă nu are un efect specific univoc asupra sistemului. Așa cum s-a remarcat și mai sus, răspunsul la aceste întrebări se întemeiază pe existența unei dinamici intrinseci, efectul unei influențe exterioare depinzând de starea în care se află sistemul la momentul exercitării influenței, mai precis de stabilitatea acesteia. În plus, dinamica intrinsecă poate fi utilă în interpretarea a ceea ce uneori se numește a fi dispoziție, tendință internă la nivelul comportamentului unui sistem.

Chiar și atunci când TSDN nu oferă o soluție precisă unei probleme legate de un anumit fenomen natural studiat, mai ales nu poate furniza modelări numerice exacte, prin dinamica de tip calitativ, are totuși un avantaj. Ea contribuie la o schimbare a modului de formulare a acelei probleme prin modificarea paradigmei de cercetare și, în consecință, a ipotezelor care se pot emite pentru a o soluționa. Contribuția sa se datorează instrumentelor conceptuale de care dispune pentru a realiza o analiză și o descriere mai exactă a fenomenelor care evoluează în timp, permițând noi distincții, care nu au fost exprimate până acum în limbajul natural.

S-ar putea ca tipurile de sisteme dinamice (definite în sens larg, ca sisteme care se schimbă în timp după o lege dinamică) studiate actualmente de matematicieni să nu fie cele care să fie cele mai adecvate pentru modelarea unor fenomene din natură, psihice sau sociale. Este posibil și ca noi tipuri de sisteme dinamice să fie descrise, care să plece de la specificul unui proces dinamic studiat, pentru ca apoi ele să servească investigării mai profunde a procesului de la care s-a pornit (cum s-a întâmplat în cazul modelului Lotka-Volterra). În acest sens, sunt de întrevăzut câteva căi de extindere a modalităților curente de a folosi modelările dinamice. De exemplu, pentru a putea explica apariția fenomenului cuplării, o soluție ar fi ca un parametru de control să fie inclus într-un sistem dinamic ca variabilă dinamică atunci când el atinge o valoare prag. De asemenea, în alegerea unor parametri de control ar trebuie să nu se excludă varianta în care aceștia reprezintă nu o anumită variabilă observată, ci valorile derivatei sale, când și aceasta se schimbă în timp. În acest fel, astfel de parametri ar contribui la modificarea comportamentului unui sistem dinamic nu ca atare, prin simpla lor variație, ci prin modul

cum se schimbă. O altă variantă ar fi cea în care variabilele dinamice ale unui sistem sunt derivate ale unor variabile dinamice ale altor sisteme. Sau, se poate imagina un sistem dinamic care să nu fie determinat doar de starea anterioară, ci de paternul stărilor sale pe un a numit interval de timp. Un exemplu de acest fel poate fi acela al modelului unui *graf dinamic* elaborat de Mesbahi (2003), care se bazează pe ideea unui graf dependent de stare. În cadrul unui astfel de graf, relațiile (muchiile) existente între elementele (vârfurile) grafului sunt dependente de starea elementelor la un moment dat, dacă se consideră că aceste elemente sunt niște sisteme dinamice. Autorul propune, de exemplu, pe baza acestui model, ca existența unui canal informațional între o pereche de elemente dinamice să fie determinată fie complet, fie parțial, de stările acestor elemente. Structura care rezultă poate fi caracterizată, potrivit autorului citat, ca îmbinând trăsăturile dinamice și cele combinatoriale. De asemenea, el prevede și o generalizare a acestei structuri, în care existența unui canal informațional între două elemente dinamice să fie dependentă nu doar de starea celor două elemente dinamice, ci și de starea altor elemente dinamice din sistem, ceea ce s-ar numi un hipergraf dinamic, pentru că e vorba de relații mai mult decât binare între elementele grafului. Un alt exemplu ar fi acela al construirii în cadrul domeniului inteligenței artificiale a unor sisteme hibride, care sunt compuse deopotrivă din componente continue și discrete, statice și dinamice, cu scopul de a folosi deopotrivă avantajele oferite de modelele formal-logice clasice și de cele dinamice.

Se impune, în final, și o avertizare. Dincolo de atractivitatea multor concepte prezente în TSDN și teoriile conexe, e nevoie de o atitudine reținută, de o utilizare a lor într-un sens bine definit, percepând, în același timp, limitele actuale în aplicarea acestora la studiul diverselor fenomene investigate. Deși interpretarea lor metaforică e un demers justificat, așa cum arată matematicianul Ian Stewart, citat de Sardar și Abrams (2002), unele dintre ele, cum ar fi, de exemplu, haosul, sunt folosite, de multe ori, în mod greșit ca metafore. În cazul haosului, se întâmplă ca utilizarea sa să fie extinsă la arii de investigație care nu implică studiul unor sisteme dinamice, fiind interpretat mai mult ca o absență a ordinii și a controlului, un sens care nu coincide cu cel din TSDN. În plus, prin utilizări nepotrivite și forțate, cu orice ocazie, conceptele TSDN pot ajunge să se devalorizeze și, prin transformarea într-o modă, să-și piardă adevăratele semnificații.

Partea a 2-a

ABORDAREA DINAMICĂ A PROCESELOR COGNITIVE SUPERIOARE

Introducere

Într-o definiție foarte sumară, de tip manual introductiv, psihologia e considerată a fi știința care studiază procesele psihice și manifestarea lor comportamentală. Dar procesul psihic, ca și comportamentul, presupun desfășurarea lor în timp, ceea ce, implicit, înseamnă că ele sunt, la modul general, fenomene dinamice. Totuși, de-a lungul timpului, psihologii au tins să neglijeze această caracteristică a obiectului lor de studiu. De multe ori, situarea în timp a proceselor psihice nu a fost privită ca relevantă înțelegerii lor, ea fiind concepută ca ceva exterior și contingent proceselor în sine, ca și când ele nu ar fi avut și o natură dinamică, ci doar, cel mult, o localizare în timp sau o anumită durată mai mult sau mai puțin întâmplătoare. Dacă duratei proceselor psihice i s-a acordat, totuși, o anumită atenție, dinamica lor a fost aproape complet neglijată, mai ales în ceea ce privește modul de coordonare, de corelare a schimbărilor la diverse scale temporale și niveluri de organizare a psihicului, de formare a unor modele de evoluție în timp a proceselor psihice cu diferite grade de stabilitate, adică de rezistență la schimbare.

Chiar și atunci când s-a recunoscut rolul caracterului temporal al proceselor psihice, timpul a fost tratat ca un factor disturbant, a cărui influență trebuie neutralizată, anihilată, pentru a putea ajunge la adevărată esență a unui fenomen psihic. S-a considerat că un proces psihic se desfășoară, în esență, în mod identic, indiferent de momentul la care e inițiat și de viteza sa de desfășurare. S-a căutat ceea ce rămâne constant în timp, ca o premisă a predictibilității. Dar metoda aleasă nu a fost întotdeauna cea mai potrivită, existând tendința de a extrapola în timp observațiile și rezultatele obținute la un anumit moment dat, de a le considera ca invariante, fără a se cerceta stabilitatea lor pe durate mai lungi de timp. O astfel de strategie e explicabilă, având în vedere că există dificultăți de ordin metodologic în a obține datele necesare unui astfel de demers. În

primul rând, e greu să se urmărească evoluția unui fenomen prin măsurători repetate pe perioade îndelungate (uneori pe câțiva ani sau zeci de ani), pentru că o astfel de cercetare cere eforturi financiare mai mari, având astfel șanse mai reduse de a fi finanțată sau de a se asigura continuitatea finanțării. Ea e mai puțin motivantă și pentru cercetători, pentru că sistemul actual de evaluare a activității lor nu le-ar permite să avanseze rapid, câtă vreme rezultatele cercetării se lasă așteptate. Apoi, urmărirea unor fenomene pe intervale medii de timp (de ordinul orelor, de exemplu), prin repetarea unor sarcini, este, de cele mai multe ori, plictisitoare sau obositoare pentru subiecți și pot apărea efecte ale învățării care complică interpretarea datelor. Pentru intervale mai scurte de timp (minute, secunde, sutimi de secundă), nu a existat, mult timp, un instrumentar adecvat pentru a realiza măsurători la această scală sau continue, prin care să se ajungă la o redare a evoluției unor procese inaccesibile conștiinței. În plus, au lipsit și instrumentele conceptuale și tehnicile adecvate de analiză a datelor care să permită interpretarea datelor obținute prin urmărirea fenomenelor în timp. Acestea sunt doar câteva din motivele care au împiedicat o dezvoltare a cercetărilor care să aibă o perspectivă dinamică asupra fenomenelor psihice investigate.

Dintre toate domeniile psihologiei, psihologia dezvoltării a fost singurul în care o abordare dinamică era de neevitat. Dar, din motivele expuse mai sus, studiile de psihologia dezvoltării au fost nevoite ca, de cele mai multe ori, să se limiteze din punct de vedere empiric la a identifica o succesiune de niveluri de dezvoltare a unui anumit proces psihic sau a formelor sale de manifestare comportamentală. Totuși, au existat aventurări teoretice dincolo de ceea ce puteau oferi, în mod efectiv, datele, care au avut intuiția unor posibile procese dinamice prin care să se explice rezultatele obținute. De altfel, astfel de intuiții privitoare la natura dinamică a fenomenelor psihice investigate au existat, așa cum se va vedea mai jos, și în lucrările altor psihologi decât cei care s-au ocupat cu psihologia dezvoltării, doar că ei au fost lipsiți de mijloacele de a realiza un studiu mai sistematic prin care să le poată specifica și verifica.

Dezvoltările care au avut loc în teoria matematică a sistemelor dinamice neliniare, în teoriile conexe (teoria complexității, a catastrofelor etc.), precum și în tehnicile de analiză a seriilor temporale după cel de-al șaselea deceniu al secolului trecut prin posibilitățile oferite de noile sisteme de calcul, precum și aplicațiile pe care diverse concepte ale acestor teorii și tehnici de analiză le-au avut în diverse domenii ale științei (fizică, economie, biologie, chimie, ecologie etc.) au condus, și în psihologie, la o

intensificare a interesului pentru o abordare a unor fenomene psihice din perspectiva acestor noi teorii. Astfel, o creştere semnificativă a numărului studiilor dedicate abordării fenomenelor psihice din perspectiva particulară a teoriei sistemelor dinamice neliniare şi a teoriilor conexe a apărut în deceniul al nouălea al secolului trecut. Tot începând cu această perioadă, termeni specifici teoriilor mai sus menţionate, cum ar fi mai ales cel de atractor, încep să se regăsească în mod curent şi în alte studii şi chiar în manuale universitare introductive de psihologie. Se poate presupune că atractivitatea unei teoretizări de tip dinamic a crescut şi datorită avântului pe care, în mod paralel, în aceeaşi perioadă, l-au luat studiile de neuropsihologie şi neuroimagistică, în general, neuroştiinţele cognitive. Ele oferă nu numai o imagine a evoluţiei în timp a zonelor cerebrale care se activează în cursul realizării a diverse sarcini experimentale, ci şi o imagine a modului cum diverse arii cerebrale interacţionează pentru realizarea sarcinilor cerute. În plus, în astfel de studii se realizează şi înregistrări la nivelul populaţiilor neuronale sau de tip EEG, prezentându-se ca serii temporale de observaţii, care au putut fi analizate cu tehnicile speciale derivate din teoria matematică a sistemelor dinamice neliniare. Studiile de neuropsihologie au încurajat şi dezvoltarea modelelor de tip conexionist, pentru că acestea sunt considerate a fi mai valide ecologic. Dar astfel de modele, care se bazează pe construirea de reţele neuronale pentru a simula diverse fenomene psihice, sunt în mod implicit legate de teoria sistemelor dinamice, comportamentul lor fiind analizat prin folosirea noţiunilor din această teorie. O contribuţie suplimentară consider că a avut-o şi revigorarea simultană a interesului pentru studiile de psihologia dezvoltării, care, adeseori, au găsit în conceptele dinamicii neliniare un cadru adecvat de interpretare şi analiză a datelor obţinute.

Înainte însă de a trece la o prezentare mai detaliată a abordării dinamice în studiul proceselor cognitive superioare, e necesară o prezentare introductivă a istoricului ideii de dinamică în psihologie şi al modului în care problematica timpului a intervenit în cercetările realizate de psihologi.

Istoricul abordării dinamice în psihologie

La nivel teoretic, există, în primul rând, filosofi care sunt precursori ai unei abordări dinamice în studiul fenomenelor psihice.

În filosofia antică, Heraclit a fost un susţinător al unei viziuni dinamice a realităţii, prin celebrul dicton care i-a fost atribuit, acela că

"toate curg". Tot Heraclit, dar şi Anaximandru, prefigurează teoriile morfologice de tip catastrofist prin ideea lor că "lupta e izvorul tuturor lucrurilor", pentru că şi în teoria catastrofelor e vorba de un conflict între mai multe regimuri funcţionale (Boutot, 1997). Însuşi matematicianul René Thom, cel care a elaborat teoria catastrofelor, îşi apropie viziunea sa de cea a lui Heraclit (Boutot, 1997). Deopotrivă Thom şi Mandelbrot, un alt matematician care a avut contribuţii importante la TSDN prin studii în teoria conexă a fractalilor, fac referire la Aristotel, considerându-l ca pe un precursor, mai ales în ceea ce priveşte morfogeneza (Boutot, 1997). Atât la Aristotel, cât şi în filosofia neoaristoteliană de tip scolastic, forma juca un rol esenţial în înţelegerea fenomenelor (lucru valabil şi pentru fenomenele psihice), materia fiind atrasă de formă (precum traiectoriile unui sistem dinamic sunt atrase spre o regiune atractoare), preferându-se o abordare calitativă, mai degrabă decât una cantitativă, continuul fiind ales în defavoarea discretului (Boutot, 1997). Potrivit acestei abordări, "mişcarea locală şi traiectoria corpurilor se explicau prin tendinţa corpurilor de a-şi recâştiga sau de a-şi adapta forma proprie" (Boutot, 1997). Prin urmare, mişcarea, schimbarea nu sunt văzute ca fiind proprietăţi accidentale, de neglijat, în demersul înţelegerii esenţei fenomenelor, ceea ce se mişcă neaflându-se, în mod necesar, într-o stare pasivă, ca obiect al unor forţe exterioare care îi stabilesc dinamica. E practic vorba de apelul la un dinamism intern ("forma proprie") pentru a explica schimbarea. Aşa cum arată şi Billig (1991), Aristotel avea o viziune mai degrabă dinamică asupra gândirii în lucrarea sa "Topica", el susţinând că strategiile gândirii apar în perechi de opoziţii, care se neagă reciproc, astfel încât, fiecare mişcare a gândirii poate fi anulată de o altă mişcare a sa. Potrivit lui Boutot (1997), acest tip de abordare a fost înlocuit după perioada în care a trăit Galilei, când mişcarea şi schimbarea erau privite ca determinate exclusiv de forţe exterioare, de un dinamism exterior, ceea ce ar fi făcut ca şi în domeniul psihologiei să se nască o "psihologie atomică", în care senzaţiile, ideile erau concepute ca şi atomii, ca interconectate prin forţe externe. Astfel, van Gelder (2000) citează cazul lui David Hume, care în secolul XVII-lea îşi imagina o psihologie ştiinţifică în care fenomenele mintale să fie modelate prin intermediul legilor matematicii, să fie elaborată o dinamică mintală, similară cu dinamica de tip mecanicist, extrinsec, din fizica de la acea vreme.

La sfârşitul secolului al XIX-lea, un alt filosof, Pierce, susţinea teze care pot fi interpretate în cheie dinamică. Astfel, în concepţia acestuia, obiectele şi ideile pot fi văzute ca "obiceiuri" sau "patemuri" care sunt

relaționate între ele de alte paternuri care au capacitatea de a acționa unul asupra altuia și de a se transforma reciproc, ceea ce pare să sugereze o viziune dinamică de tip fractal asupra reprezentărilor (după Goertzel, 1996). De asemenea, susținătorii unei abordări dinamice într-o variantă extremă, exclusiv interactivistă, care neagă existența reprezentărilor interne, cum este Bickhard (2000), invocă modelul reprezentării pe care Pierce l-a elaborat în filososfia sa ca anticipând concepția lor că reprezentarea este mai degrabă de natură externă, existând doar ca o interfață dintre organism și mediu.

Van Gelder (2000) remarcă faptul că, în secolul trecut, abordarea dinamică poate fi susținută de "o tradiție filosofică alternativă", care pornește de la Heidegger și Ryle, la începutul secolului, și se sfârșește cu filosofi ca Merleau-Ponty, Dreyfus și Varela, aceștia susținând că la baza proceselor cognitive stă un angajament într-o interacțiune continuă cu mediul. În particular, Heidegger (după Anderson, 2003) formulează idei care seamănă cu cele susținute de teoria cogniției încorporate, afirmând că o condiție pentru formarea unor reprezentări ale realității separate de aceasta este tocmai aceea de a interacționa cu ea, de a fi angajat, scufundat în mediu, la baza reprezentărilor stând nu alte reprezentări, ci poziția în lume pe care cunoscătorul o are ca agent. La fel, Anderson (2003) îl citează pe Merleau-Ponty ca susținând că reprezentările sunt în mod necesar legate și structurate de contextul în care un agent încorporat acționează în mediul său. Fiind "sublimări" ale experienței corporale a unui agent, conținutul lor își are originea în aceasta. Chiar și utilizarea reprezentărilor ar fi controlată nu de o minte autonomă, ci de corpul însuși care acționează. Ryle (1949, în Kujundzic, 2000), discutând despre inteligență, critică concepția potrivit căreia ar exista "inteligență" dincolo de "comportamentul inteligent". În viziunea sa, o persoană care gândește logic "raționează cu o metodă corectă, dar fără să considere prescripțiile unei metodologii", adică nu ține seama de niște reguli pe care le urmează pentru a gândi, chiar dacă le poate sesiza dacă își observă propriul mod de gândire. El mai susține și că o argumentare logică e întotdeauna unică, ea nerepetându-se niciodată. Opunându-se dualismului cartezian corp-minte (după Schnaitter, 1985), el a prefigurat ceea ce astăzi se numește cogniție încorporată (în engleză: "embodied cognition"). Kampis (1991) observă că și alți filosofi ai începutului de secol XX, cum sunt Whitehead și Bergson, au anticipat o abordare dinamică a fenomenelor psihice. În concepția sa, Whitehead era de părere că procesele gândirii, în general, produc informație nouă, impredictibilă prin calcul, pentru că ele nu

realizează tautologii ale unui calcul logic, prin logică (sau computații) neputându-se iniția tranzițiile din cadrul acestor procese. Se poate deduce că ideea de proces a lui Whitehead era foarte aproape de aceea de proces dinamic neliniar de tip haotic. La fel, Bergson, tradus de Kampis (1991) în terminologie modernă, susținea că "specificările stărilor, care nu implică o temporalitate ireductibilă, sunt în mod necesar incomplete", pentru că există alți factori, pe care îi numește "dispoziții", care ar determina comportamentul sistemului. S-ar putea spune că aceste așa numite "dispoziții" ar reprezenta legea dinamică care determină starea viitoare pe baza stării prezente. Este posibilă o apropiere și între opera târzie a lui Wittgenstein (1958/1993) și o viziune dinamică, prin concepția sa asupra sensului cuvintelor, pe care nu îl consideră a fi fixat o dată pentru totdeauna, ci ca fiind dat de utilizarea cuvintelor, schimbându-se permanent în funcție de modul lor de folosire, ceea e relevă un dinamism al sensurilor.

Pentru a doua jumătate a secolului XX, van Geert (1994) sugerează ideea că un rol în răspândirea unei abordări dinamice l-ar fi avut și influența pe care filosofia orientală și cea marxistă au avut-o asupra lumii occidentale la sfârșitul anilor șaizeci și începutul anilor șaptezeci ai acestui secol. Ambele curente filosofice puneau accentul pe devenire, pe schimbare și pe mecanismele ascunse ale acesteia. De aceea, van Geert (1994) crede că nu e întâmplător faptul că o seamă de descoperiri de bază din domeniul dinamicii au fost făcute în California, unde curentul hippy era foarte în vogă. În ceea ce privește ultimele curente filosofice, Delacour (1998/2001) apreciază că viziunea postmodernistă asupra cogniției, care consideră că subiectul cunoscător și lumea nu pot fi distinse, ci sunt două aspecte ale aceleiași realități care nu poate fi complet obiectivată, este similară concepției interactiviste bazate pe teoria sistemelor dinamice.

Dintre curentele de gândire din secolul trecut care au avut un rol important în lumea științifică, cibernetica, în forma sa inițială, a fost considerată a fi avut, în esență, o viziune dinamică asupra fenomenului cogniției (van Gelder și Port, 1995). În acest sens, van Gelder și Port (1995) invocă o lucrare importantă a cibernetici, apărută în anul 1952, scrisă de Ross Ashby, unul dintre întemeietorii cibernetici, cu titlul "Design for a brain". În ea, autorul menționat sugera că cel mai potrivit cadru general pentru o știință unificată a cogniției ar fi unul dinamic, fără însă a demonstra, în mod explicit, utilitatea unui astfel de cadru pentru modelarea psihologică. De asemenea, feedback-ul, în forma sa directă,

are o interpretare naturală în ideea de interacțiune între variabile dinamice și în aceea de recursivitate, ambele fiind concepte importante pentru TSDN. Un argument în plus ar fi și acela că Norbert Wiener (1961/1966), cel care a pus bazele gândirii de tip cibernetic, susține o perspectivă dinamică asupra psihicului. El evidențiază faptul că în viziunea asupra proceselor cognitive pe care o avea școala filosofică empirică engleză, din care fac parte, de exemplu, Locke și Hume, era implicată o dinamică (așa cum s-a menționat și anterior, una mai mult de tip extern), fiind vorba de modul în care ideile formează "conglomerate" pe baza principiilor de similaritate, contiguitate și cauzalitate. Dar, la acea vreme, concepția unei dinamici a ideilor nu a fost explicitată și elaborată, pentru că noțiunea de dinamică nu reușise încă să fie preluată din fizică de către științele biologice și psihologice. În cadrul lor, sub influența scolasticii, conceptul de conținut mintal a primat în comparație cu cel de proces mintal (Wiener, 1961/1966). După părerea lui Wiener (1961/1966), trecerea spre o abordare mai dinamică a început odată cu Pavlov. De asemenea, același autor remarcă posibilitatea apariției unor fenomene psihice patologice atunci când se produce o "răsturnare relativ banală și accidentală a stabilității" vieții mintale obișnuite, ceea ce sugerează o dinamică neliniară a procesului patologic, caracterizată de sensibilitatea la condițiile inițiale. El prevede apariția unei astfel de instabilități cu consecințe patologice mai ales în cazul proceselor psihice care angajează mulți centri nervoși, multe procese motorii diferite și un număr mare de zone de asociere, ceea ce în terminologia TSDN s-ar traduce ca fiind un sistem dinamic complex. Procese de acest fel sunt tocmai cele superioare, cum este gândirea, apreciate ca cele mai expuse, deteriorându-se cel mai devreme în boli psihice cum este schizofrenia. Wiener (1961/1966) a făcut aceste observații plecând de la problema stabilității transmiterii mesajelor nervoase (o preocupare care e tipică pentru un studiu dinamic al unui proces), arătând că aceasta tinde să scadă cu cât traseul căilor nervoase e mai lung și are mai multe întreruperi. De aceea, în opinia sa, astfel ar putea fi explicată tendința ca traseele nervoase lungi să nu treacă prin centrii cerebrali superiori, ci doar prin cei inferiori, pentru a nu fi afectați de instabilitatea proceselor cerebrale superioare. Wiener (1961/1966) a realizat și o tentativă inovatoare pentru acea vreme, analizând evoluția în timp a potențialelor electrice cerebrale prin metoda autocorelației și aplicând apoi o analiză armonică, o tehnică de analiză a seriilor temporale care este azi obișnuită în TSDN. El a constatat că există

diferențe individuale stabile în forma acestei curbe, care reflectă particularitățile dinamicii cerebrale ale unei persoane. Plecând de la astfel de analize, Wiener (1961/1966) propune schița unei teorii a auto-organizării undelor cerebrale ca efect al activității coordonate a mai multor oscilatori. El s-a bazat pe observația că frecvența unui oscilator poate fi schimbată prin impulsuri de frecvență diferită doar printr-un mecanism neliniar, pentru că un mecanism liniar poate schimba doar faza și amplitudinea unei oscilații, nu și frecvența sa. Deplasarea de frecvență produsă printr-un mecanism neliniar va avea, conform lui Wiener (1961/1966), "natura unei atracții", dar caracterul neliniar s-ar evidenția doar pe intervale mari de timp, pentru intervalele scurte, predominând aparența liniarității. De aceea, el întrevede posibilitatea ca "creierul să conțină un număr de oscilatori de frecvențe de aproape 10 pe secundă și ca, în cadrul unor limite, aceste frecvențe să poată fi atrase una către alta" (Wiener, 1961/1966, p. 262) . Un astfel de mecanism ar face ca frecvențele să se grupeze în anumite regiuni ale spectrului, prin atracția frecvențelor din alte regiuni, ceea ce va conduce la scăderile de putere în spectrele pe care le-a obținut prin analiza dinamică a undelor cerebrale. Pe scurt, Wiener (1961/1966, p. 262) consideră că "o interacțiune neliniară care cauzează atracția de frecvență poate genera un sistem de autoorganizare" pentru activitatea cerebrală, ceea ce reprezintă o formulare care se află într-un surprinzător acord cu abordările dinamice actuale ale activității cerebrale, existând chiar și suprapuneri terminologice. Din păcate, acest curent de idei cu tentă dinamică, apărut în perioada fundamentării cibernetice, a devenit prea curând unul subteran, fiind în mare parte uitat și ignorat de cibernetic ienii care au continuat pe un alt drum, cel care, bazându-se pe un computaționalism de tip formal simbolic, a pus bazele primelor sisteme de calcul performante.

Și printre psihologi, nu doar printre filosofi și cibernetic ieni, au existat o serie de precursori, la nivel teoretic, ai abordării dinamice în studiul fenomenelor psihice.

E un lucru mai puțin cunoscut că însuși întemeietorul psihologiei ca știință, Wundt, considera în ultimii ani ai carierei sale că metafora potrivită pentru a ghida ceea ce azi s-ar numi studiile de psihologie socială ar trebui să fie nu cea a științelor naturale, nu o metodă experimentalistă, cantitativă, ci una calitativă, de tipul analizei istorice (pe care o putem asocia celei dinamice), care să investigheze paternurile relațiilor sociale și formarea lor în timp (după Gergen, 1994).

Primii care au avut, însă, o orientare mai pronunțată spre un studiu de tip dinamic al proceselor psihice au fost psihologii care au aparținut școlii gestaltiste, așa cum remarcă și Newtson (1994). La baza gândirii lor a stat încercarea de a găsi niște principii ale formării autonome a ordinii la nivel perceptual și în funcționarea creierului (Tuller et al., 1994). Ei considerau că fenomenele perceptuale sunt efectul "autoorganizării", a dinamicii unor câmpuri perceptuale, adică, în termenii de azi, sunt emergente, rezultând din interacțiunea organism-mediu (Newtson, 1994). De aceea, potrivit lui Newtson (1994), noua psihologie va fi o psihologie neogestaltistă (n. a., în ipoteza în care abordarea dinamică se va impune ca paradigmă dominantă în psihologie). Similaritatea dintre formarea gestalturilor și formarea paternurilor, așa cum este ea studiată în sinergetică, a fost sesizată și de alți autori (Haken și Stadler, 1990, conform, Tschacher et al., 2003). Ei afirmă că percepția gestalturilor se bazează pe procese de autoorganizare, ținând cont de faptul că la trecerea între formele percepute apar semnele indicatoare ale tranzițiilor de fază neliniare: hysteresis-ul și încetinirea critică a relaxării în apropierea punctelor de instabilitate.

Unul dintre întemeietorii psihologiei moderne americane, William James, a anticipat și el multe din tezele unei abordări dinamice a fenomenelor mintale, lucru evidențiat și de Vallacher și Nowack (1994a) și Bielecki (2000). James (1892) susține ideea că stările mintale sunt în continuă schimbare, că nici un gând nu mai reapare într-o formă identică, că se poate vorbi de o conștiință simțită ca o curgere continuă și nu de un lanț sau "tren" de stări mintale, chiar dacă admite că există întreruperi în timp și schimbări abrupte și bruște în conținutul acestora. Recunoscând că fenomenele mintale pot fi descrise ca o succesiune de stări atomare repetabile, el observă că o astfel de descriere e doar mai "convenabilă", dar ea nu corespunde realității, asemănând acest demers cu cel al unui matematician care, din motive pragmatice, aproximează o curbă prin segmente de dreaptă. Argumentul principal pe care îl aduce pentru a-și susține afirmația e acela al naturii dinamice a creierului, a cărui formulare e una foarte actuală: "Creierul e un organ al cărui echilibru intern e mereu în schimbare în orice parte a sa". De asemenea, observă că această schimbare poate fi una mai mică, aproape absentă, existând o anumită stabilitate, iar alteori schimbările sunt bruște și semnificative, ceea ce face să apară uneori forme ale tensiunii cu o anumită permanență, care apoi să se modifice brusc. E de remarcat faptul că aceasta e o descriere într-un

limbaj obişnuit a unora dintre aspectele care caracterizează comportamentul sistemelor dinamice complexe neliniare. Pentru James (1892), conştiinţa, ca atare, e în permanentă schimbare a formelor, ea însăşi necorespunzând, însă, formelor în sine, ceea ce înseamnă că propune o distincţie importantă între forme şi suportul lor dat de dinamica fluxului conştiinţei. Existenţa acestei dinamici, mai lente sau mai rapide, îl determină să diferenţieze două tipuri de stări mintale: "substantive" (am spune azi stabile, care sunt accesibile introspecţiei) şi "tranzitive" (care nu sunt accesibile introspecţiei, dispărând în momentul în care se încearcă surprinderea lor şi care ar corespunde tranziţiilor dinamice între stări semistabile din TSDN). James (1892) susţine teza continuităţii stărilor mintale făcând trimitere la paradoxul în care Zenon îi combătea pe cei care susţineau posibilitatea mişcării. El le cerea să indice locul în care se afla o săgeată în mişcare, iar aceştia nu-l puteau determina, fiind combătuţi printr-un raţionament care presupunea o regresie infinită. La fel, a nega existenţa unei conştiinţe în continuă curgere pentru că existenţa stărilor tranzitorii nu poate fi dovedită introspectiv e acelaşi lucru cu a nega mişcarea unei săgeţi pentru că nu se poate dovedi existenţa stărilor intermediare. În plus, el mai argumentează că a le nega existenţa ar însemna fie să se nege existenţa relaţiilor la nivel intern sau extern, totul reducându-se doar la o juxtapunere de senzaţii (poziţia pe care s-a plasat Hume), fie ca reprezentarea relaţiilor externe să fie plasată la nivelul unui intelect văzut ca o realitate inaccesibilă, a cărui existenţă poate fi doar speculată. În cadrul unei astfel de concepţii, James (1890) e cel care afirmă că orice gând are o zonă de interferenţă cu gândul care l-a precedat şi cu cel care îl urmează, această zonă de interferenţă fiind cea care asigură legătura şi continuitatea dintre gânduri. Modul în care gândirea avansează, procesul său de înaintare nu ar depinde de formatul reprezentărilor mintale (verbale, vizuale etc.), pentru că procesul e acelaşi şi el se bazează pe relaţiile de armonie şi discordanţă între gânduri, care generează dinamica gândirii prin zonele de interferenţă de respingere sau de afinitate reciprocă (în terminologie modernă, ar fi numite zone de repulsie şi atracţie a traiectoriilor unui sistem dinamic). Se poate conchide din această prezentare, relativ extinsă, că ideile pe care James le-a avut cu mai bine de un secol în urmă sunt în concordanţă cu liniile de bază ale abordării dinamice contemporane.

La începutul secolului XX, un alt psiholog, mai puţin cunoscut, avea intuiţii ale unei perspective dinamice asupra fenomenelor psihice,

similare cu cele susținute de William James. Într-un text în care susținea ideea de psihologie funcțională, ca fiind o abordare complementară psihologiei structuraliste care domina în acea vreme, Angell (1907) atrăgea atenția asupra faptului că "momentele de conștiință" au un caracter artificial, analiza structurii lor fiind, de fapt, post mortem. De preferat ar fi, în schimb, studiul proceselor mintale în condițiile desfășurării lor în timp real. El credea că "conținuturile mintale sunt evanescente și repede trecătoare", ceea ce le face să nu poată fi tratate structuralist, în același mod cum sunt tratate elementele anatomice care sunt relativ permanente. De aceea, autorul mai sus citat arată că, indiferent de cât de mult se vorbește de "păstrarea dispozițiilor psihice" și de "stocarea ideilor într-un depozit ipotetic al memoriei", de neeludat rămâne faptul că atunci când nu mai trăim o senzație sau o idee "ea este, strict vorbind, inexistentă". În plus, remarcă Angell (1907), nu doar că nu avem nici o garanție că a doua apariție a unei senzații sau idei este, într-adevăr, o replică a primei sale apariții, ci există chiar "dovezi prezumtive destul de serioase că din punctul de vedere al conținutului", ideea sau senzația inițială "nu este și nu poate fi niciodată duplicată în mod literal". Astfel de idei sunt foarte apropiate de cele susținute de Skarda și Freeman (1987), care prezintă dovezi empirice că reprezentările la nivel neuronal pentru un același miros diferă în funcție de contextul temporal în care este sesizat acel miros, ceea ce îi determină să afirme că nu există reprezentări fixe la nivel psihic pentru un același fenomen exterior, că acestea au o natură dinamică. La fel, poziția lui Angell (1907) e similară cu cea a unor susținători actuali ai unei ipoteze dinamice care neagă utilitatea păstrării noțiunii de reprezentare, ca entitate internă relativ stabilă, pentru a explica fenomenul cogniției. Angell (1907) îl citează și pe Warren, un alt autor al acelei vremi, care propune categorii psihice funcționale ca forme de bază ale conștiinței. Se poate aprecia că aceste categorii funcționale inedite pot primi o interpretare dinamică. Astfel, Warren (în Angell, 1907) sugerează *că funcția sensibilității* permite reflectarea unui continuum al senzațiilor, adică permite reflectarea a ceea ce e continuu în realitate. În schimb, *funcția* pe care o numește a *modificării*, ar furniza reprezentarea modificărilor intense, accentuate, în continuumul dat de senzații. Am putea spune că reflectă o schimbare care e încă continuă, de natură cantitativă, o sesizare a tendinței schimbării, ceea ce în termeni matematici ar corespunde derivatei de prim ordin într-un punct al funcției de mișcare. În schimb, *funcția diferențierii* ar oferi detectarea schimbărilor calitative, a

salturilor discontinue, corespunzând capacității noastre de a avea trăiri conștiente diferite calitativ. În termenii unei abordări dinamice actuale ar însemna procese de tip catastrofic, bifurcații prin care comportamentul unui sistem se schimbă calitativ, prin generarea de noi atractori. Ultima *funcție*, cea a *asocierii*, permite articulările necesare înțelegerii și legării scopurilor. Ea ar corespunde proceselor dinamice de cuplare, tranziție haotică itinerantă între atractori sau bifurcațiilor în urma cărora se produc fuziuni de atractori. În spiritul teoriei contemporane a cogniției încorporate și a celei a conceptelor ca sisteme simbolice de tip perceptual (Barsalou, 1999), foarte apropiate de o ipoteză dinamică în psihologie, Warren susține că cele trei mari funcții psihice: cogniția, afectivitatea și conația sunt direct legate de cele trei sisteme senzoriale: cogniția de senzațiile exteroceptive, afectivitatea de cele interoceptive, iar conația de cele kinestezice, pentru că doar prin intermediul cunoașterii activității motorii se dezvoltă controlul voluntar.

Un alt psiholog și filosof american celebru, Dewey, care se numără printre întemeietorii școlii americane de psihologie, poate fi considerat un precursor atât al lui Gibson, cât și al abordărilor mai recente din psihologie și inteligența artificială în care se contestă posibilitatea de a distinge în mod clar între stimul și răspuns. Dewey (1896, citat de Spivey și Dale, 2006) a criticat ideea de arc reflex, adică a unei legături cauzale liniare între stimuli, evenimentele mintale și răspunsurile comportamentale, contestând și posibilitatea de a izola studiul legăturii dintre stimuli și evenimentele mintale de studiul legăturii dintre evenimentele mintale și răspunsuri. În schimb, el propune ca cele trei componente să fie considerate a fi un singur proces continuu și circular, în cadrul căruia nu se pot face distincții foarte clare, astfel că, acțiunile care se desfășoară în timp modifică în mod continuu mediul stimulilor, care va modifica în mod continuu activitatea mintală, ceea ce va conduce la o revizuire constantă a tendințelor spre acțiune (Dewey, 1896, citat de Spivey și Dale, 2006).

Tot la începutul secolului trecut, Kurt Lewin (1933, în Newtson, 1994) a propus ca dinamica să fie folosită ca bază pentru analiza comportamentului, sugerând existența unor unde comportamentale care curg, se deplasează într-un mediu care este înțeles ca spațiu al unei dinamici, numit câmp dinamic (în engleză: "dynamic field").

Psihologia freudiană din aceeași perioadă are și ea elemente care o apropie de o abordare de tip dinamic a psihicului. În primul rând, ea pune accentul pe un joc de forțe conștiente și inconștiente pentru a explica o

serie de fenomene psihice, de unde şi apelativul de psihologie dinamică care i s-a atribuit adesea. Apoi, e o psihologie care acordă o mare importanţă conceptului de energie. Aşa cum arată Gergen (1994), teoria freudiană a evidenţiat că "evenimente care sunt fenotipic disimilare şi temporal disociate pot fi relaţionate dinamic în inconştient", acceptându-se ideea existenţei unor corelaţii şi interacţiuni la distanţă, care ar putea fi efectul unei autoorganizări. Porte (1994) susţine şi el că aparatul psihic, în viziune freudiană, poate fi privit ca un sistem dinamic, ideea dinamicii psihismului reprezentând partea cea mai originală a operei freudiene în concepţia autorului citat. Tocmai pe aceste baze freudiene a elaborat Porte (1994) o interpretare a psihanalizei din perspectiva teoriei dinamice a catastrofelor.

Şi C. G. Jung a avut intuiţia naturii dinamice a fenomenelor psihice. Ca o dovadă în acest sens, se poate cita următorul text:

"Iată deci că, deşi manevrele armatei se află, într-adevăr, sub o comandă unică şi unitară, această comandă este, de fapt, rezultatul interacţiunii unor factori neînchipuit de complicaţi. Aşa au loc şi "manevrele" psihice: pe baza unor predeterminări la fel de complicate. Cu toată simplitatea imboldului, fiecare nuanţă a diferitelor sale aspecte, intenţionalitatea sa se întemeiază pe predeterminare şi particularităţi psihice, adică tocmai pe aceea de "atitudine" generală care, la rândul ei constă dintr-o constelaţie de conţinuturi a cărei diversitate abia dacă poate fi întrezărită" (Jung, 1931, p. 3)

E o descriere care seamănă izbitor cu una care s-ar baza pe o teorie a sistemelor dinamice complexe, în care autoorganizarea, structurile ordonate apar fără ca să existe în mod necesar vreun centru de control şi comandă, vreun agent coordonator, prin procesul emergenţei. De asemenea, concepţia pe care Jung (1931) o are asupra ideii de complex afectiv face apel la o intuiţie care pare să amintească de ideea de dinamică intrinsecă, de lege dinamică. Astfel, el crede că un complex psihic "nu se comportă ca un conţinut al conştiinţei, adică nu apare şi dispare la comanda noastră, ci îşi urmează propriile legi, fiind cu alte cuvinte independent, autonom" (p. 15). Tot despre complexul afectiv spunea că "are o coeziune internă puternică şi îşi are completitudinea sa proprie, bucurându-se astfel de un grad ridicat de autonomie" şi "se comportă în spaţiul conştient ca un corpus alienum însufleţit, fiind supus numai în mică măsură dispoziţiilor conştiente" (p. 16). Apare aici o asemănare

surprinzătoare cu ideea de sistem dinamic, care se caracterizează şi el prin coeziune internă şi prin existenţa unor interacţiuni între elementele sale, conferind sistemului un dinamism intern, o lege dinamică proprie. Jung (1948) citează şi cercetări experimentale care ar sugera că un complex are o curbă de intensitate sau de activitate de formă ondulatorie, cu o lungime de undă de ore, zile sau săptămâni, discernând astfel un patern în timp al evoluţiei complexului, un demers tipic unei metodologii de tip dinamic. El mai face un pas în direcţia unei concepţii care poate fi privită ca dinamică prin elaborarea ideii de "proces de individuaţie", ca un "proces inconştient exprimat în mod spontan de simbolica seriilor mai lungi de vise" (Jung, 1948). A ajuns la o astfel de idee observând că actele de compensare aparent izolate, care la început "par să fie echilibrări de moment" ca urmare a unui dezechilibru, se dovedesc a se ordona după un fel de plan, "ele apar corelate", astfel încât "o serie lungă de vise nu mai pare o înşiruire fără sens de evenimente incoerente şi izolate, ci un proces de evoluţie sau ordonare ce parcurge anumite etape, ca după un plan". Azi se ştie că astfel de corelaţii pe distanţe mari în serii temporale de date sunt caracteristice comportamentului sistemelor dinamice complexe aflate la limita haosului, capabile de autoorganizare.

Jung (1951/ 2005) credea şi că o reprezentare mintală are o tensiune energetică, o capacitate de a acţiona, o intensitate dată de valoarea sa afectivă, ceea ce schiţează parcă o concepţie dinamică asupra reprezentării, una care nici în prezent nu e încă clar formulată. În opinia lui Jung (1952/1999), şi arhetipurile "posedă o anumită autonomie şi energie specifică, în virtutea căreia reuşesc să atragă conţinuturi ale conştiinţei adecvate lor", idee care pare a le acorda statutul a ceea ce în TSDN se numeşte structură atractoare. Şi privitor la voinţă, Jung (1952/1999) are o viziune dinamică, bazată pe coordonarea unor forţe contradictorii. El credea că o condiţie pentru coordonarea şi perfecţionarea oricărui act intenţionat este existenţa unei ambitendinţe, a unei contradicţii, care stă, de altfel, şi la baza oricărui act motor. Din contradicţia armonizată se naşte opoziţia supărătoare doar când apare un dezechilibru prin accentuarea exagerată a unei tendinţe la intervenţia unui terţ intrus. În ceea ce priveşte procesul de adaptare, Jung (1952/1999) evidenţiază jocul dinamic dintre potenţial şi actual, care rezultă din interacţiunea dinamică a unor forme de adaptare multiple de care dispune un individ. Astfel, el arată că "omul nu se poate transforma în ceva din pură raţiune, ci numai în ceea ce există deja în el ca posibilitate", ceea ce

în termenii moderni ai TSDN ar însemna că primordial în adaptarea unui individ este dinamica intrinsecă a psihicului său şi nu o forţă externă. Jung (1952/1999) oferă şi o descriere a unui proces de adaptare care azi ar putea fi foarte bine modelat prin ceea ce Thom a numit a fi catastrofa piscului, adică atunci când spaţiul stare al unui sistem dinamic ajunge să fie dominat de două regiuni atractoare care se află în competiţie, fiecare ajungând să domine în anumite momente, când un parametru de control depăşeşte o valoare prag, fără ca atractorul cu care se află în competiţie să dispară, el doar pierzându-şi progresiv puterea. Astfel, pentru Jung (1952/1999), dacă e nevoie de o modificare, forma de adaptare existentă până atunci se "descompune" treptat, fiind însă compensată inconştient de arhetipul unei alte forme de adaptare, fără însă ca forma anterioară să îşi piardă "atractivitatea" (ca rămâne o potenţialitate activă). Se remarcă faptul că însuşi termenul de atractivitate sugerează o interpretare dinamică, prin folosirea noţiunii de atractor. Observaţiile lui Jung (1952/1999) privitoare la dinamica atitudinilor sunt susţinute de datele unor studii moderne, cum sunt cele realizate de Eiser (1994) şi Latané şi Nowack (1994). Astfel, plecând de la principiul că fiecare extremă psihologică conţine în secret şi opusul ei, că din această antiteză rezultă dinamica sa specială, el afirmă că pe măsură ce o atitudine e mai intensă, mai aproape de un pol extrem, cu atât mai curând este de aşteptat transformarea sa în opusul său.

Psihologia behavioristă are şi ea elemente comune cu anumite abordări dinamice ale psihicului, şi anume, acelea care susţin inutilitatea noţiunii de reprezentare pentru explicarea comportamentului în sarcini cognitive. La fel cum pentru behavioriştii esenţială era legătura stimul-răpuns, o variantă extremă a abordării dinamice a cogniţiei (cogniţia încorporată) afirmă că performanţa cognitivă emerge din cuplarea sistemelor dinamice senzorio-motorii între ele şi cu mediul, fără a mai fi nevoie de reprezentări interne. O altă asemănare posibilă este dată de modelarea secvenţelor temporale de învăţare de tipul condiţionării clasice prin folosirea aşa numitelor lanţuri Markov, sau procese decizionale Markov, prin care se formalizează procesele dinamice de tip stocastic (Courville şi Touretzky, 2002). Interpretări dinamice ar putea primi şi anumite aspecte ale psihologiei de tip pavlovian, de formare a reflexelor condiţionate, mai ales în ceea ce priveşte raporturile dintre procesele excitatorii şi cele inhibitorii, care pot fi considerate de natură dinamică, descrierea evoluţiei în timp a focarelor de excitaţie şi a formării

legăturilor dintre acestea sau relațiile temporale dintre stimulii condiționați și cei necondiționați.

În cadrul psihologiei dezvoltării, Waddington (1957, în van Geert, 1994) a sugerat o reprezentare a dezvoltării ca peisaj, introducând termenul de peisaj epigenetic. O astfel de reprezentare poate fi pusă în legătură cu modul de evoluție a unui sistem dinamic în relieful spațiului fază, unde văile sunt atractori și culmile sunt repulsori. Van Geert (1994) consideră, de asemenea, că "există multă teorie a sistemelor dinamice în spatele modelelor părinților fondatori" ai psihologiei dezvoltării cum ar fi Piaget, Inhelder, Wallon, Vîgotsky, Werner etc. și în teoriile învățării, dar aceasta există într-o formă implicită, într-o formulare verbală și filosofică. De aceea, van Geert (1994) a încercat o reformulare a vechile teorii ale dezvoltării, o traducere a lor în limbajul modern al teoriei sistemelor dinamice, care permite noi dezvoltări teoretice și metodologice. La fel, van der Maas și Molenaar (1996) arată că e utilă aplicarea teoriei catastrofelor la înțelegerea apariției conservării piagetiene pentru că epigeneza e un concept prea vag, care poate fi înțeles mai bine ca echivalent al autoorganizării în teoria sistemelor dinamice neliniare. În concepția lui Newtson (1994), stadiile dezvoltării cognitive ale lui Piaget pot fi interpretate dinamic ca un set de tranziții de fază în cadrul aceluiași sistem, în loc să fie văzute ca o succesiune de sisteme care se înlocuiesc rând pe rând. Această traducere i-a oferit ocazia să evidențieze, să descopere, noi proprietăți ale proceselor dezvoltării, permițându-i să specifice paternul lor dinamic (regulat sau turbulent). Bickhard (2000) sesizează și el unele apropieri dintre epistemologia genetică piagetiană și teoria interactivistă a reprezentării pe care a elaborat-o, având la bază o concepție dinamică. Principala asemănare pe care o semnalează este aceea a accentului pus pe proces și acțiune pentru modelarea fenomenelor mintale, dar observă că există și o diferențiere. În comparație cu piagetismul, interactivismul pe care îl susține pune accent și pe importanța construcțiilor rezultate din variații spontane și pe selecția acestora. Stevens (2000) este un alt autor care sugerează că dinamica neliniară ar fi utilă înțelegerii unor concepte din teoria piagetiană care au fost mai puțin clarificate de psihologi, cum ar fi cele de autoreglare în dezvoltare, echilibrare, asimilare sau acomodare. S-ar putea conchide că toate teoriile dezvoltării care evidențiază rolul activității și al interacțiunilor cu mediul au un caracter dinamic implicit.

Un puternic accent dinamic are şi modelul interactiv al percepţiei elaborat de cel care a pus bazele psihologie ecologice: J. J. Gibson. El este adesea invocat de susţinătorii moderni a unei abordări dinamice, cum ar fi de exemplu Bickhard (2000), Thelen (1992) sau van Gelder şi Port (1995). Ultimii doi autori citaţi apreciază contribuţia lui Gibson ca fiind crucială pentru încurajarea unei perspective dinamice în ştiinţele cognitive. Aceasta pentru că ea a accentuat importanţa interacţiunii în timp real cu mediul, care este posibilă doar prin folosirea surselor de informaţie de tip dinamic care se găsesc direct la nivelul stimulului şi care stă la baza percepţiei şi a performanţelor motorii. O astfel de informaţie s-ar datora structurării undelor energetice ale stimulului de către evenimentele unui mediu dinamic. În consecinţă, este contestată posibilitatea de a distinge propriu-zis un stimul sau de a-l distinge pe acesta de răspuns. În concepţia lui Gibson, influxul, inputul energetic din exterior nu poate fi segmentat în părţi discrete sau unităţi elementare, adică în stimuli, neexistând, prin urmare, o stimulare momentană, pentru că acesta este continuu, episoadele, segmentările în cadrul fluxului fiind încorporate unul în altul, progresiv (Gibson, 1979, citat de Spivey şi Dale, 2006).

Printre iniţiatorii unei abordării dinamice a fenomenelor psihice se numără şi Caianiello (1961, Duch, 1996). Faţă de diferiţii autori prezentaţi mai sus care au avut doar intuiţii teoretice generale, el a propus şi o formulare matematică a unor legi dinamice ale creierului, susţinând că acestea se referă la dinamica unor ansambluri mari de neuroni şi, implicit, la cea a unor procese psihice. Dinamica lor ar fi, în principal, de două tipuri: una mai rapidă, caracteristică, în general, proceselor de tip mnezic de evocare a informaţiei, pe care a formalizat-o prin ceea ce a numit ecuaţii mnemonice şi o dinamică lentă, legată în general de procesele de învăţare. Potrivit acestui autor, rolul proceselor gândirii logice este acela de a furniza constrângeri în comportamentul sistemelor dinamice mintale. Totuşi, el nu a folosit instrumentele conceptuale specifice TSDN contemporane şi, de aceea, nu va fi trecut în rândul celor care au avut o abordare dinamică propriu-zisă.

Dinamica şi timpul, ca preocupări *în cercetările empirice psihologice*, au intervenit mai ales în studiile privitoare la estimarea duratei diferitelor fenomene şi procese psihice, care s-au bazat, în principal, pe măsurarea timpilor de reacţie şi a timpilor de răspuns sau pe aceea a duratei de păstrare a unui material stocat în memorie. De asemenea, s-a încercat stabilirea succesiunii în timp a diverselor etape din evoluţia unui proces

psihic sau din dezvoltarea ontogenetică a acestuia sau a întregului sistem psihic. Estimarea stabilității în timp a unor măsuri psihologice, în special a trăsăturilor de personalitate, cu ajutorul coeficientului de fidelitate test-retest se încadrează şi ca printre demersurile metodologice în care dinamica fenomenelor de ordin psihic a fost luată în considerare. În psihologia socială, s-a încercat surprinderea dinamicii din cadrul grupurilor, dar metodele folosite nu au fost suficient de elaborate pentru a permite descrieri precise ale unor paternuri dinamice. Psihologii s-au mai confruntat cu chestiunea timpului şi atunci când au cercetat modul de reprezentare şi utilizare a stimulilor dinamici. Totuşi, chiar dacă astfel de stimuli sunt "mai ecologici", dată fiind dificultatea operării cu aceştia, a existat tendința să se prefere stimulii statici în diversele cercetări empirice. Studiile prin care s-au făcut, prin diverse metode, înregistrări ale activității neuronilor la nivel cerebral au oferit şi ele date cu privire la evoluția în timp a unor procese cerebrale puse în legătură cu diverse procese psihice. Dar demersurile de ordin empiric, ca cele prezentate mai sus, nu au avut la bază o adevărată concepție dinamică, adică o preocupare pentru dinamica intrinsecă a unor procese psihice. Ele s-au limitat doar la aspecte de suprafață, legate de simpla constatare a unor durate, succesiuni de stări în timp sau fluctuații, de evidențierea constanței unui fenomen, fără ca să existe un interes crescut pentru a desprinde modele dinamice generale. Totuşi, se pot menționa şi câțiva psihologi care, de-a lungul timpului, au avut abordări metodologice cu un caracter dinamic mai pronunțat.

Astfel, în domeniul cercetărilor experimentale, contribuția mai puțin cunoscută a lui John Perham Hylan poate fi apreciată ca o anticipare a studiilor de tip dinamic. Potriviti lui van Geert (1994), acesta, încă din anul 1898, a fost preocupat de studiul fluctuațiilor naturale ale atenției, fluctuații nedeterminate de evenimente şi tulburări externe. În cercetările sale el a folosit date experimentale; dar şi date de jurnal şi introspective de la subiecții pe care i-a folosit. Van Geert (1994) dă exemplul unui studiu empiric realizat de Hylan, în care acesta le-a cerut subiecților să adune o serie de coloane de numere şi a observat timpul de adunare şi erorile făcute pentru fiecare coloană. Sau, într-o altă cercetare, Hylan le-a cerut subiecților să selecteze o temă de interes personal şi să scrie, în fiecare zi, în ce măsură sunt interesați de acel subiect şi cât de mult le place sau le displace. Pe baza datelor culese, el a trasat curbe ale evoluției în timp ale măsurătorilor făcute şi a constat că indiferent de sarcină şi de domeniu, indiferent de scala lor temporală, paternul obținut era acela al unei oscilații

neregulate. Azi s-ar putea spune că a reuşit să evidenţieze un patern dinamic de natură fractală, dată fiind invarianţa la scala de analiză a acestuia.

Şi cercetările asupra memoriei realizate de Bartlett (1932, în Kriz, 2001) au relevanţă pentru abordările dinamice ulterioare ale cogniţiei, mai ales din punct de vedere metodologic, prin ideea investigării dinamicii amintirilor prin reproduceri seriale, prin iteraţii recursive (adică folosirea unei reproduceri din memorie ca stimul pentru viitoarea reproducere din memorie). S-a putut constata, pe această cale, că se ajunge, după câteva reproduceri succesive, la structuri stabile foarte structurate (similare atractorilor). Stadler şi Kruse (1990, în Kriz, 2001) au folosit, ulterior, această metodologie pentru a arăta că reproducerile succesive ale unor paternuri formate din puncte aleatorii tind să se stabilizeze în paternuri care au un nivel ridicat de "pregnanţă".

O altă cercetare, realizată mult mai târziu, în deceniul şapte al secolului trecut, a avut şi ea un design al cercetării care azi s-ar integra într-o abordare dinamică. Deşi rezultatele sale au trecut neobservate până azi, consider că ele ar putea oferi o nouă perspectivă asupra percepţiei, mai ales asupra caracterului său dinamic. Astfel, Simondon (1969) a fost curios să vadă ce se întâmplă dacă un obiect stimul rigid aflat în mişcare oscilatorie este privit în mod continuu de participanţi, timp de mai mult de 20 de minute. Rezultatele arată că, în mod surprinzător, apare o evoluţie a categoriilor perceptive. Dacă, iniţial, obiectul era interpretat dintr-o perspectivă "abstract simbolică", se ajunge ca, în final, obiectul să fie privit dintr-o perspectivă "concret organică". La început, participanţii aveau impresia că mişcare stimulului era una de tip geometric, de ansamblu, apoi apare o percepţie a mişcării de tip mecanic (adică oscilaţii, balansări). La sfârşit, se produce o iluzie a unei mişcări de tip organic, obiectul părându-le participanţilor ca activ şi autonom, iar mişcarea ca fiind rezultatul unor proprietăţi elastice ale obiectului, care ar sta la originea transformărilor spontane. Concluzia autorului citat este aceea că succesiunea de categorii de mişcări percepute pare să depăşească posibilitatea explicării lor prin efectul oboselii şi al alternanţei ipotezelor, implicând "un proces pozitiv de geneză şi integrare în cursul unei percepţii prelungite". Datele acestui studiu reuşesc să pună în evidenţă o dinamică internă intrinsecă în evoluţia în timp a unei reprezentări perceptuale, în condiţiile în care stimularea externă rămâne constantă. Şi cercetările făcute asupra modificărilor perceptuale care apar prin concentrarea asupra unui stimul pe o durată de timp relativ mai redusă

decât în cercetarea de mai sus evidențiază o evoluția dinamică, de tip oscilație între imagine și postimagine. Ea este explicată de Hering (1920, în Papalia și Olds, 1985) prin teoria proceselor oponente, o teorie care a fost ulterior dezvoltată de Hurvich și Jameson (1957, în Papalia și Olds, 1985) și care poate fi considerată a fi în esență una de tip dinamic. Existența unei dinamici intrinseci a fenomenelor psihice ar putea fi evidențiată, într-o formă mai puțin directă, și în alte studii asupra iluziilor perceptive sau în cele de izolare senzorială a unor participanți, când a apărut o activitate spontană a psihicului, halucinatorie, în absența stimulării externe (Margo, Hemslaw și Slade, 1981, în Perona-Garcelán și Cuevas-Yust, 1998), la fel ca cea care apare în cursul activității onirice. Ele indică faptul că atunci când stimulii externi sunt ambigui sau lipsesc, nemaioferind o constrângere suficientă, dinamica psihică interioară iese mai pregnant în evidență. O dinamică a stărilor de conștiință a apărut și în cercetările asupra fazelor somnului și asupra efectelor deprivării de somn (Popoviciu, Foișoreanu, Corfariu și Enătescu, 1978; Papalia și Olds, 1985).

O seamă de cercetări empirice făcute în cadrul psihologiei dezvoltării sunt de apreciat azi ca promotoare ale unei metodologii de tip dinamic. Astfel, încă de la mijlocul anilor '20 ai secolului trecut, Werner (în Siegler și Crowley, 1991) a realizat studii care seamănă foarte mult cu studiile de tip microgenetic realizate azi, care au o bază în TSDN, interpretând traiectoriile dezvoltării ca având o structură de fractal (în sensul că dinamica dezvoltării e aceeași, indiferent de scală: micro- sau macrogenetică). În cercetările sale, pe care el le numea experimente genetice, a încercat să urmărească evoluția în timp a apariției reprezentărilor care constituiau diverse evenimente psihologice. De exemplu, el a descris modul în care prezentarea repetată a unor tonuri foarte similare a condus la o diferențiere perceptuală sporită a spațiului tonal (ceea ce în termeni dinamici s-ar interpreta ca o bifurcație). Vîgotski (1978, în Siegler și Crowley, 1991) e de acord cu metoda inițiată de Werner și consideră că e necesar să se studieze conceptele și deprinderile în procesul schimbării care apare în cadrul sau de-a lungul sesiunilor experimentale, adică la nivel microgenetic. Pentru un studiu al microgenezei a pledat și Inhelder el al. (1976, în Siegler și Crowley, 1991), ca o imagine la scară micro a dezvoltării macrogenetice. Astfel, experiențe de învățare repetate în cursul unei aceleiași sesiuni pot avea rolul de a activa schemele existente și de a crește oportunitatea apariției interacțiunii dintre acestea și, prin urmare, și a apariției unor scheme emergente care să rezulte din această interacțiune și din interacțiunea cu mediul. Un model

dinamic de tip oscilatoriu a fost evidențiat prin date obținute în cursul unor studii longitudinale asupra dezvoltării lexicale (Dromi, 1986, în van Geert, 1994), dezvoltării utilizării corecte a regulilor sintactice (Brown, 1973, în van Geert, 1994), a utilizării întrebărilor interogative (Labov și Labov, 1978, în van Geert, 1994). Același patern oscilatoriu a apărut și în studii transversale privind evoluția înțelegerii noțiunilor și operațiilor aritmetice, mai precis a legăturii dintre adunare și scădere (Fischer, Kenny și Pipp, 1990, în van Geert, 1994) și a judecății reflective asupra propriului proces de gândire, când copii se confruntau cu probleme slab structurate (Kitchener et al., 1993, în van Geert, 1994).

Cercetările în cadrul design-ului experimental care investighează longitudinal comportamentul unui singur subiect au încurajat, de obicei, o viziune dinamică în interpretarea datelor obținute. În studiile actuale care aplică TSDN ele par a fi preferate, ca fiind cele mai potrivite unei abordări dinamice. Exemple de studii timpurii de acest gen sunt cele realizate de Ebbinghaus (1913, în McGuigan, 1993), asupra memoriei, și de Skinner (1959, în McGuigan, 1993), privind învățarea. De exemplu, Skinner (1959, McGuigan, 1993) credea că în loc să se studieze un număr mare de participanți pentru o perioadă scurtă de timp, e mai bine să se studieze un singur participant pe o perioadă lungă de timp și apoi să se facă o replică a studiului pe încă unul sau doi participanți. Skinner (1959, McGuigan, 1993) și-a numit metoda analiza experimentală a comportamentului. El urmărea evoluția ratei de răspuns, ca indicatoare a puterii unui operant folosit, considerând-o ca variabilă independentă, și identifica, prin analiză grafică și nu statistică, perioadele sale de stabilitate și instabilitate. Ulterior, el le punea în legătură cu perioadele în care a fost modificată variabila independentă.

În ceea ce privește tehnicile de analiză a datelor, bazele unor prelucrări mai elaborate a datelor obținute în cadrul seriilor temporale, similare cu unele de azi, au fost puse încă de la primele studii de psihofizică. Astfel, tehnica analizei prin funcții de autocorelație a fost introdusă în psihologia modernă, conform lui Selz și Mandell (1994), de către psihofizicieni ca Senders, în 1953, Verplanck, Collier și Cotton, în 1952 și Wertheimer, în 1953. Tot în psihofizică a fost evidențiată, pentru prima dată, o relație de tip neliniar în cadrul psihologiei, sub forma celebrei legi Weber-Fechner.

Relativ simultan cu conturarea mai clară a unei abordări dinamice în psihologie care se sprijină pe TSDN (adică tot la sfârșitul secolului trecut) au debutat și câteva linii de gândire teoretică și de cercetare

empirică care, deşi au o viziune dinamică, nu fac nici o referire explicită la TSDN. Ele nu folosesc nici instrumentele conceptuale şi metodologice oferite de aceasta, chiar dacă, uneori, se constată suprapuneri terminologice sporadice (cum ar fi, de exemplu, termenul de recurenţă).

Unul dintre exemplele cele mai elocvente este acela al unei serii de studii care se referă la reprezentările sociale, bazate pe teoria sociologică a interacţionismului simbolic, cum sunt cele ale lui Abric (1994/1995), Flament (1994/1995) şi Moscovici (1984/1995), care pot pleda pentru o interpretare dinamică a reprezentărilor. Astfel, Moscovici (1984/1995) susţine că "experienţele şi amintirile nu sunt nici inerte şi nici moarte. Ele sunt dinamice şi nemuritoare". El propune o concepţie asupra reprezentărilor sociale în care acestea sunt un întreg în care sunt fuzionate percepţia şi conceptul, o faţetă iconică şi una simbolică, o idee (concept, schemă cognitivă) şi o acţiune (un model de acţiune), arătând că ideile trecute "continuă să fie active, să schimbe şi să influenţeze ideile şi experienţele prezente." (p. 10). În acest sens, el citează o opinie a lui Jahoda (1970, în Moscovici, 1984/1995) care sugera că reprezentările "au calitatea de a fi autonome, nefiind identificabile în mod necesar în mintea unor indivizi particulari" (p. 10). Un precursor al unei astfel de viziuni asupra reprezentărilor sociale a fost şi McDougall (1920, în Moscovici, 1984/1995): "Gândirea, prin contribuţia reprezentărilor colective, se spune că ar avea propriile sale legi, destul de diferite de cele ale logicii" (p.10). La fel ca cei doi autori pe care îi citează, Moscovici (1984/1995) susţine că reprezentările au o "viaţă proprie, comunicând unele cu altele, opunându-se şi schimbându-se armonios de-a lungul vieţii" (p.10), "circulă, fuzionează, se atrag şi se resping, dau naştere la noi reprezentări, în vreme ce reprezentările vechi sunt scoase din circulaţie şi mor" (p. 13). El sugerează că o reprezentare socială îşi pierde din dinamicitate, se "fosilizează", pe măsură ce natura sa convenţională începe să fie uitată. Având în vedere considerentele de mai sus, Moscovici (1984/1995) pledează pentru necesitatea de a se studia "dinamica interioară" a reprezentărilor sociale, pentru că ele sunt în mod esenţial structuri dinamice, văzute a fi ca nişte câmpuri sau noduri structurate. Astfel de structuri apar doar din dialog şi comunicare, prin conversaţie creându-se "noduri de stabilitate şi recurenţă". De dinamica modificărilor reprezentărilor sociale s-a ocupat şi Flament (1994/1995), care susţine că aceasta ar avea mai multe etape, de schimbare treptată, în paşi minimi necesari, pentru a răspunde modificărilor circumstanţelor exterioare. Însă acest autor nu pune accentul pe o dinamică intrinsecă şi se referă la modificări care au

loc pe perioade lungi de timp. Abric (1994/1995) şi Flament (1994/ 1995) consideră că structura reprezentării sociale ar conţine un nucleu central, stabil, şi elemente periferice, care se schimbă dinamic, activându-se în funcţie de context, aducând şi dovezi empirice în acest sens. Abric (1994/1995) conchide că existenţa acestor subsisteme: unul central stabil şi altul periferic dinamic, care sunt cuplate, ar explica o proprietate aparent contradictorie a reprezentărilor sociale, faptul că sunt simultan stabile şi dinamice, rigide şi flexibile. Naturii dinamice a reprezentării i se asociază şi un nou statut în relaţiile sale cu stimulul şi răspunsul. Faţă de concepţia clasică, potrivit căreia stimulul determina reprezentarea, iar reprezentarea răspunsul, în concepţia lui Moscovici (1984/1995), reprezentarea determină deopotrivă stimulul şi răspunsul, ceea ce înseamnă, practic, o ştergere a distincţiei dintre stimul şi răspuns, dintre mediul extern şi intern. La fel, Abric (1994/1995) apreciază că la baza noii abordări a fenomenelor sociale se află renunţarea la distincţia clasică dintre subiect şi obiect, susţinerea poziţiei conform căreia "stimulul şi răspunsul sunt indisociabile", pentru că ele "se formează împreună". Autorul citat evidenţiază faptul că un răspuns nu este "în mod strict o reacţie la un stimul", ci "stimulul este în mare măsură determinat de răspunsul său", ceea ce înseamnă că un obiect este definit de relaţia subiect-obiect.

Se constată că principii ale dinamicii neliniare se regăsesc formulate într-un limbaj mai puţin tehnic, dar şi mai vag în acelaşi timp, la cercetătorii din grupul mai sus citat. O analogie s-ar putea formula între reprezentarea socială ca entitate dinamică, autonomă şi modelarea reprezentărilor mintale ca sisteme dinamice neliniare complexe, definite printr-o lege dinamică caracteristică. După cum s-a menţionat mai sus, reprezentările sociale sunt văzute ca autonome în raport cu indivizii, ceea ce ar însemna că, din punct de vedere dinamic, ele sunt interpretabile ca fiind emergente la nivelul interacţiunii dintre individ şi mediu, la fel cum susţin şi adepţii cogniţiei încorporate. În sprijinul analogiei, se poate invoca şi ideea susţinută de Abric (1994/1995), potrivit căreia elementele constitutive ale unei reprezentări sociale sunt ierarhizate şi "întreţin între ele relaţii care le determină semnificaţia". Această descriere a componentelor reprezentării sociale e foarte similară cu definirea variabilelor dinamice ale unui sistem dinamic complex, între acestea existând relaţii de interdependenţă prin care îşi determină valorile reciproc. Complexitatea unui sistem dinamic presupune formarea ierarhii, dar nu de componente, ci de niveluri de organizare a componentelor, un nou nivel fiind privit ca o nouă componentă emergentă. În plus, într-un sistem complex în care nu

există conectivitate completă între elemente, elementul care are conectivitatea cea mai mare cu restul elementelor va putea fi apreciat ca central, fiind plasat astfel pe nivelul superior al unei ierarhii stabilite din acest punct de vedere.

Nodul central al unei reprezentări sociale ar permite o interpretare dinamică în mai multe moduri. Pe baza definiției pe care o dă Abric (1994/1995), acesta ar fi cel care determină natura legăturii care unește toate elementele reprezentării, fiind unificator și stabilizator. Totodată, el susține că centralitatea acestui element nu este una definită cantitativ, ci calitativ, distingând-se de ceea ce se consideră a fi un exemplar prototip. De aceea, privit ca un principiu formator, ar corespunde legii dinamice definitorii a unui sistem dinamic. Pe de altă parte, prin natura sa stabilizatoare, ar putea fi considerat ca fiind constituit din stările atractoare ale sistemului dinamic al reprezentării, în vreme ce elementele periferice ca stări din bazinul de atracție. O altă posibilă interpretare a nucleului central al unei reprezentări ar fi aceea asociată elementului unui sistem complex care are cele mai multe interacțiuni cu elementele dinamice învecinate. Dintre cele trei modele de interpretare, prima ar fi cea mai apropiată de concepțiile celor care susțin natura dinamică a reprezentărilor sociale, celelalte două fiind de apreciat ca și cazuri particulare ale acesteia. Un argument ar fi acela că modul de schimbare pe termen lung prin factori externi a reprezentării sociale ar corespunde modului de schimbare a legii dinamice, prin modificarea parametrilor de control. Ceea ce psihologii din acest grup de cercetare nu au prevăzut sau studiat este posibilitatea unei schimbări de tip catastrofic a reprezentărilor sociale, ei pledând, în general, pentru o transformare graduală a nodului central. Pe termen scurt, schimbarea reprezentărilor sociale s-ar interpreta dinamic ca o modificare de traiectorie sau de atractor ca urmare a schimbării condițiilor inițiale, a unui anumit context sau a inputurilor externe. Dinamica aceasta este, de fapt, dinamica elementelor periferice, dar ea stă la baza dinamicii de la nivelul emergent al nucleului central. La rândul ei, dinamica de la nivel central, stabilitatea elementului central, va influența stabilitatea celor periferice, dinamica lor. Cuplarea sistemelor periferice cu cel central corespunde principiului dinamic din sistemele dinamice complexe potrivit căruia nivelurile de organizare sunt cuplate dinamic. Această idee își găsește o formulare aproape dinamică la Abric (1994/1995), care susține că dimensiunile sistemului periferic sunt parametri de control pentru cel central și invers. Dacă s-ar echivala gradul de stabilitate al unei componente cu gradul ei de memorabilitate, atunci

s-ar putea explica şi rezultatele obţinute de Abric (1989, în Abric, 1994/1995), conform cărora participanţii la un studiu au memorat mai bine elementele centrale ale unei reprezentări sociale, decât pe cele periferice. În plus, ei au tins să le genereze în timpul evocării unui material dat spre memorare care se referea la conţinutul unei reprezentări sociale, chiar dacă acele elemente centrale nu se regăseau în lista care trebuia memorată. La fel, Moliner (1988, în Abric, 1994/1995) a obţinut rezultate care indică faptul că o reprezentare socială nu se schimbă în mod efectiv decât dacă informaţia nouă schimbă elementul central, ceea ce dinamic s-ar traduce prin faptul că schimbarea parametrilor de control exteriori va conduce la o schimbare a legii dinamice. Mai mult, Flament (1989, în Flament, 1994/1995) prevede posibilitatea existenţei unor reprezentări sociale pe care le numeşte neautonome, care au mai multe ansambluri organizatorice. Consider că astfel de reprezentări ar avea proprietatea care în dinamică se numeşte multistabilitate, prezentând mai multe regimuri atractoare care se pot afla în competiţie.

Un alt exemplu de studiu de natură dinamică care a apărut în paralel cu dezvoltarea abordării dinamice în psihologie, fără a avea tangenţe cu aceasta, este cel realizat de Simondon (1964, 1989, în Debaise, 2004), autor care a fost amintit şi mai sus, într-un alt context. El a propus o teorie a individuării, care pleacă de la presupunerea că individul reprezintă un echilibru stabil şi, de aceea, pentru a putea ajunge la transformarea cerută de individuare, trebuie să treacă într-un stadiu de echilibru metastabil. Acesta se obţine prin ruptura bruscă a echilibrului stabil, care se datorează tensiunilor şi instabilităţii interne şi intervenţiei unei singularităţi, o discontinuitate internă sau externă care provoacă ruptura (după Debaise, 2004). Pierderea de echilibru e văzută ca un proces neliniar. Echilibrul metastabil poate fi la rândul lui distrus de o singularitate, care va determina propagarea echilibrului metastabil din aproape în aproape, de la o parte care a fost deja transformată, la alta care va fi transformată, ceea se numeşte, în limbajul autorului citat, proces de transducţie (Debaise, 2004). Simondon (1989, în Debaise, 2004) susţine că propagarea, transducţia, presupune realizarea unei legături între scale de organizare disparate, de la nivel micro şi de la nivel macro: ar fi vorba de o transmitere la nivel macrofizic a unor proprietăţi active ale unei discontinuităţi primitive aflate la nivel microfizic. În cadrul unui astfel de proces de individuaţie, nu e posibilă o transformare prin negaţie, în adevăratul său sens (adică prin anihilarea unui element vechi pentru a trece la unul nou în cursul propagării). Semnificaţia pe care o primeşte

relația de negație este aceea de incompatibilitate între elementele unui sistem eterogen aflat în echilibru metastabil (Debaise, 2004). Într-o interpretare prin prisma conceptelor TSDN a procesului de individuare prin transducție, s-ar putea spune că acesta ar corespunde comportamentului caracteristic sistemelor dinamice complexe capabile de autoorganizare aflate la limita haosului, adică departe de echilibrul stabil, într-o stare în care apar structuri de tip fractal, care se întind pe toate nivelurile de organizare ale sistemului. De asemenea, termenul de singularitate se regăsește cu un sens asemănător, de discontinuitate, și în TSDN, iar procesul de propagare al unei neliniarități seamănă foarte mult cu ceea ce în TSDN și în fizică se numește soliton, ca un fenomen de undă prin care o singularitate devine călătoare.

Toate studiile teoretice și cercetările empirice amintite până acum nu pot fi, totuși, considerate a se înscrie într-o abordare dinamică propriu-zisă, ca aplicații ale TSDN în psihologie, ci, cel mult, oferă niște puncte de plecare pentru elaborarea unei astfel de abordări. În continuare vor fi prezentate începuturile cercetărilor care s-au bazat în mod explicit pe concepte sau metode specifice TSDN.

Matematicianul Zeeman, între anii 1972-1977, a fost printre primii care a folosit TSDN, mai exact teoria catastrofelor, pentru a realiza modelări dinamice ale unor fenomene psihologice și neuronale cum ar fi propagarea influxului nervos, tratamentul anorexiei, apariția comportamentului agresiv (Boutot, 1997). René Thom, în prefața unei lucrări scrise de Porte (1994), arată că principala contribuție a lui Zeeman a fost aceea de a nu mai lua ca substrat al proceselor spațiul-timp cvadridimensional, ci "spațiul de control al unei «cutii negre»", ceea ce a permis extinderea teoriei catastrofelor, încorporând teoria generală a sistemelor. Studii de pionierat privitoare la aplicațiile teoriei catastrofelor în psihologie au fost realizate și de Stewart și Peregoy (1983, în Radu, 1993), care au prezentat o interpretare dinamică de tip catastrofic pentru fenomenul fuziunii în percepția unei lumini intermitente produse cu ajutorul unui flicker (apărând caracteristici ale unei catastrofe de tip pliu: salt brusc calitativ, hysteresis, bimodalitate) și, de asemenea, una pentru percepția figurilor ambigue. În aproximativ aceeași perioadă, Flay (1977, în Flay, 1978) realizează un studiu sintetic și entuziast cu privire la aplicațiile teoriei catastrofelor în psihologie. El arată că în aceste aplicații predomină modelele care se bazează pe două tipuri de catastrofe.

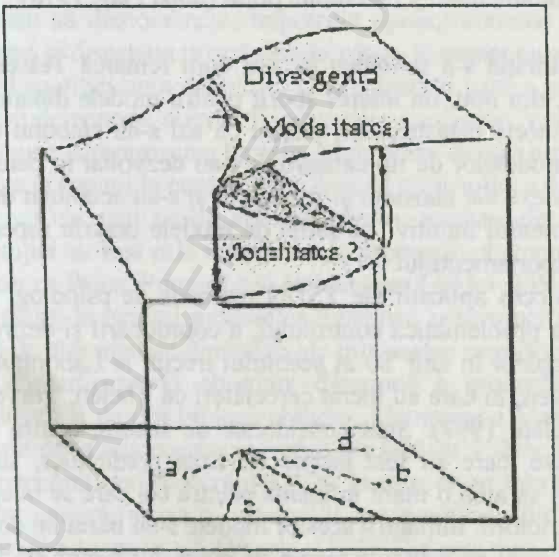
Primul tip, cel mai frecvent folosit, este catastrofa piscului. Ea este considerată a fi adecvată (Flay, 1978) pentru orice fenomen psihic care

prezintă proprietățile divergenței, bimodalității, discontinuității, inaccesibilității și hysteresis-ului și în care sunt implicați doi parametri de control și o variabilă de răspuns. Rolul parametrilor de control în ceea ce privește determinarea comportamentului studiat poate fi diferit, după poziționarea lor în raport cu suprafața comportamentală (vezi Fig. 34A), după cum s-a văzut și în partea introductivă a lucrării de față. Dacă unul dintre ei, pe măsură ce crește progresiv, face ca, la o anumită valoare prag, să se treacă de la un comportament unimodal la altul bimodal și ca, apoi, distanța dintre cele două modalități să crească progresiv pe măsură ce crește și el, se va numi factor de separare. În acest caz, celălalt va fi un factor numit normal, pentru că modificarea sa progresivă va duce la o modificare graduală a comportamentului, normală, în cadrul unei anumite modalități. Vor exista două valori prag diferite ale factorului normal pentru care se trece brusc de la o modalitate la alta a comportamentului (câte una pentru fiecare direcție a tranziției), pentru acele valori ale factorului de separare pentru care există două modalități, fenomen numit hysteresis. Când cei doi parametri de control au o poziție în spațiul de control rotită cu 45 de grade, ambii vor determina răspunsuri conflictuale și, de aceea, vor fi numiți *factori de conflict*, cum sunt de exemplu, frica și furia pentru modelul agresivității elaborat de Zeeman (Flay, 1978). Prin urmare, apariția a doi factori care induc conflictul între două modalități comportamentale sugerează un model bazat pe catastrofa piscului.

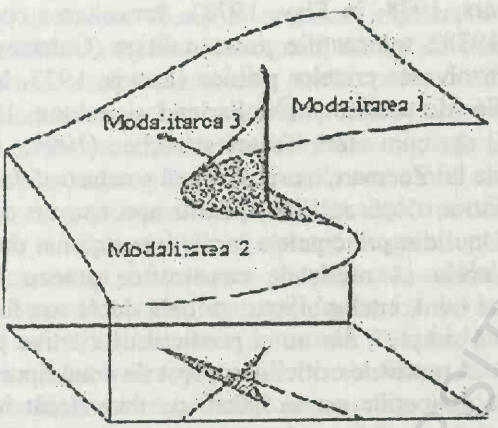
Pentru fenomene psihice mai complexe, Flay (1978) apreciază ca fiind adecvată folosirea catastrofei fluturelui. Se poate face apel la ea când e vorba de o variabilă comportamentală determinată nu de doi, ci de patru factori de control. Catastrofa fluturelui ar fi capabilă să modeleze fenomene care au proprietățile specifice catastrofei piscului, cu excepția bimodalității variabilei comportamentale, de răspuns, care, pentru valorile negative ale celui de-al patrulea factor de control trebuie să fie trimodală, făcând să apară o a treia suprafață stabilă în pliul suprafeței comportamentale din catastrofa piscului (vezi Fig. 34B). Primii doi parametri de control își păstrează aceleași funcții ca și cele din catastrofa piscului. Al treilea factor care apare în catastrofa fluturelului se numește de biasare, pentru că prin modificarea lui se poate muta pliul pe suprafața comportamentală, schimbându-se, astfel, valorile prag pentru primii doi parametri de control pentru care apar schimbări bruște de comportament. El introduce un fel de dinamică a dinamicii.

În cursul anilor '70 și '80 ai secolului trecut a existat o "explozie" a studiilor care aplicau la nivel intuitiv cele două modele catastrofice unei

serii variate de procese psihice, cum ar fi, de exemplu, condiţionarea pavloviană (Frey şi Sears, 1978, în Flay, 1978), dezvoltarea cognitivă (Saari, 1977, în Flay, 1978), tranzacţiile psihoanalitice (Galatzer-Levy, 1978, în Flay, 1978), rezolvarea crizelor psihice (Lewis, 1977, în Flay, 1978), schimbarea stărilor de conştiinţă (McFarland şi Ashton, 1978, în Flay, 1978) etc. Totuşi, aşa cum arată Tesser şi Achee (1994), la doar cinci ani de la publicaţiile lui Zeeman, teoria aplicată a catastrofelor a fost puternic criticată şi a intrat, după anii '80, pentru aproape un deceniu, într-un con de umbră. Unul din principalele motive, menţionat de Thom (Porte, 1994), a fost acela că modelele catastrofice puteau fi doar calitative, oferind "o mai bună inteligibilitate globală decât cea furnizată de o descriere lingvistică simplă", dar nu şi predicţii cantitative precise. Kolata (1977) apreciază că motivele criticilor au fost de două tipuri. Unul dintre ele este acela că aplicaţiile nu se bazau pe date decât în mică măsură sau deloc. Al doilea a fost acela al inconsistenţei matematice, pentru că, de cele mai multe ori, ipotezele modelului dinamic de tip catastrofic nu corespundeau cu cele cerute dintr-un punct de vedere strict matematic. Petitot (1977, în Porte, 1994) consideră modelele catastrofice ca locale, nepredictive, nefalsificabile experimental, ca dublând în mod inutil descrierea în limbaj natural a fenomenelor.



(A)



(B)

Fig. 34 (A) Catastrofa de tip pisc, cu două modalități și o singularitate cu două situații pentru cei doi parametri de control: **a** și **b** sunt factori de conflict sau **c**, factor de separare, **d**, factor normal; (B) Catastrofa fluturelui pentru situația în care al patrulea parametru de control e negativ: trei modalități comportamentale și mai multe pliuri (după Flay, 1978)

Actualmente situația s-a schimbat și, așa cum remarcă Tesser și Achee (1994), există, din nou, un interes sporit pentru modele dinamice care să aibă la bază teoria catastrofelor, pentru că azi s-au elaborat noi metode de testare a modelelor de tip catastrofă, s-au dezvoltat în paralel aplicații în teoriile conexe ale haosului și fractalilor și s-au acumulat date care "validează sentimentul intuitiv" că astfel de modele descriu aspecte semnificative ale comportamentului.

Cele mai de succes aplicații ale TSDN realizate de psihologi au fost cele referitoare la problematica controlului, a coordonării și dezvoltării motorii. Ele au apărut în anii '80 ai secolului trecut, la Laboratorul Haskins din New Haven, în care au lucrat cercetători ca Thelen, Turvey, Kugler și Kelso (Thelen, 1992). Sunt considerate de succes, pentru că sunt modele cantitative, care au fost testate pe baza predicțiilor, sunt numeroase și au ajuns să aibă o mare influență printre cei care se ocupă de studiul proceselor motorii. Inițiatorii acestor modele s-au bazat nu doar pe conceptele TSDN, ci și pe intuițiile legate de controlul motor ale lui Bernstein (1967, în van Gelder și Port, 1995), un predecesor al lor, care

nu dispunea de instrumentele actuale ale TSDN. Avântul pe care l-au luat modelele dinamice în această arie de cercetare se bazează pe posibilitatea mult mai mare de cuantificare şi măsurare a variabilelor dinamice din modelele elaborate, decât cea existentă în alte domenii ale psihologiei. În esenţă, ele se bazează pe ideea că o mare parte din paternurile activităţii motorii nu sunt comandate de la nivel central, nici nu sunt consecinţa unor reflexe, ci ele emerg ca structuri atractoare ale unor sisteme dinamice complexe care se autoorganizează, în care intră ca şi componente dinamice şi sistemul muscular şi cel osos, cu proprietăţile lor biomecanice. Dinamica unor astfel de sisteme va fi guvernată de anumiţi parametri de control care ţin de structura corporală a fiecărui individ şi de caracteristicile mediului, modificări ale acestora putând induce apariţia sau dispariţia bruscă şi incontrolabilă a unor modele motorii. Câteva dintre cele mai cunoscute astfel de modele dinamice motorii sunt acelea pentru coordonarea mişcării degetelor indicatoare în antifază (Schöner şi Kelso, 1988, în Metzger, 1997), pentru dezvoltarea mersului (Thelen şi Smith, 1994, în Metzger, 1997), pentru săritul într-un picior (Roberton, 1993, în Metzger, 1997), pentru mişcările de apucare (Kamp, 1993, în Metzger, 1997) etc. Dintre acestea, poate cel mai spectaculos este cel al lui Thelen şi Smith (1994, în Metzger, 1997) pentru dezvoltarea mersului, pentru că a reuşit să demonstreze, împotriva opiniei comune de la acea dată, că apariţia şi dispariţia mişcărilor de păşire la sugari nu se datorează apariţiei sau dispariţiei unui reflex, ci unei dinamici care e guvernată de anumiţi factori de control, cum ar fi greutatea picioarelor. Variind astfel de factori s-a reuşit demonstrarea faptului că se poate induce reapariţia mişcărilor de păşire la sugarii la care se considera că acest refex a dispărut.

Cele mai multe aplicaţii relativ recente ale TSDN în domeniul cogniţiei au fost cele referitoare la procesele percepţiei, fiind realizate de autori ca Patee, Prigogine şi Haken (van Gelder şi Port, 1999). Chiar dacă nu ajung la nivelul modelelor dinamice pentru activităţi motorii, ele au faţă de alte modele dinamice ale proceselor cognitive un grad mai ridicat de cuantificare. O abordare dinamică a proceselor cognitive a fost realizată şi de doi biologi chilieni: Maturana şi Varela. Aceste studii au pornit de la o concepţie teoretică înrudită cu TSDN, pe care au elaborat-o în deceniul opt al secolului XX, în care ei au introdus o noţiune care a făcut carieră, aceea a sistemelor autopoietice, adică sisteme autonome, care se autogenerează (Varela, 1994). Din cele susţinute de Varela (1994), se poate constata că în cadrul teoriei lor ei au abordat cogniţia ca fiind

orice rezultat al interacțiunii dintre organism și mediu. De aceea, ei se situează printre întemeietorii cogniției încorporate, extinzând domeniul proceselor cognitive la orice proces care contribuie la menținerea identității organismului într-un mediu schimbător cu care acesta se află în interacțiune. Prin urmare, și ei au ajuns să se concentreze mai mult asupra cogniției de nivel perceptual și a celei care are semnificație biologică directă, acestea fiind situate mai aproape de interfața organism-mediu, elaborând modele dinamice care au o terminologie care nu se suprapune complet peste aceea a TSDN. Modelele dinamice explicite care folosesc terminologia TSDN pentru a descrie procese cognitive superioare vor fi tratate mai pe larg în cele ce urmează, ele fiind tema principală a acestei lucrări.

Bechtel și Abrahamsen (2006) sesizează o relativă periodizare a influenței pe care TSD a avut-o în cadrul psihologiei cognitive. În anii '80 ai secolului trecut, TSDN a fost utilizată aproape exclusiv pentru a caracteriza fenomene cum sunt percepția, motricitatea și dezvoltarea. După anii '90 însă, TSDN a început să aibă un impact semnificativ în științele cognitive în general, prin combinarea cu alte principii teoretice, elaborându-se un cadru teoretic mai larg și mai adaptat nevoilor studiului fenomenelor cognitive, care integrează o familie de abordări de tip dinamic.

Relevanță pentru aplicațiile TSDN în psihologie, mai ales în ceea ce privește procesele cognitive, au avut și modelele de tip conexionist, așa cum s-a menționat și mai sus. Pentru că majoritatea rețelelor neuronale sunt sisteme dinamice complexe, a fost firesc ca modul lor de comportament să fi fost descris și analizat cu instrumentele oferite de TSDN. Acest lucru este valabil mai ales pentru cazul așa numitelor rețele neuronale cu atractori (în engleză, "attractor network"). Ele asociază un spațiu input (de obicei continuu) cu un spațiu output mai redus ca dimensiune, compus dintr-un set de alternative discrete (Zemel și Mozer, n. d.). Astfel de rețele au, în general, conexiuni de tip recurent, evoluând către paternuri stabile de activitate (atractorii rețelei). Comportamentul lor e descris ca reprezentând o reducere a unui gradient într-un "relief" energetic (în engleză, "energy landscape"), spațiul outputului fiind, astfel, partiționat în bazine de atracție (Zemel și Mozer, n. d.), reprezentând văile spațiului energetic. Rețelele cu atractor au proprietăți computaționale speciale (vezi, de exemplu, Amit și Mascaro, 1999; Latham, Deneve și Pouget, 2003), cele mai importante fiind acelea de clasificare, filtrare a zgomotului și de integrare a semnalelor (Eliasmith, 2005). Eliasmith (2005) evidențiază faptul că stabilizarea paternului de răspuns al rețelelor cu

atractori ca urmare a unui input momentan este ideea centrală care justifică asocierea comportamentului lor cu proprietăți dezirabile ale sistemelor biologice și cognitive: reacția la scale temporale multiple, indicarea îndeplinirii unei sarcini computaționale (prin stabilizarea răspunsului), rezistența la perturbații nedorite, reducerea zgomotului, prezența comportamentelor repetitive. Toate aceste proprietăți sunt însumate de capacitatea lor de a completa paternuri de input (când informația este insuficientă sau eronată). Particularitatea menționată a făcut ca ele să fie folosite preponderent pentru modelarea prin rețele neuronale a memoriei asociative și a proceselor de categorizare (Eliasmith, 2005). Prin urmare, van Gelder și Port (1995) cred că creșterea interesului pentru o abordare dinamică poate fi explicată, în mare măsură, prin revenirea în prim plan a conexionismului, a descrierii comportamentului rețelelor neuronale (cum sunt cele cu atractori) prin intermediul conceptelor TSDN, după anii '80 ai secolului trecut. Ei înscriu într-o abordare dinamică nu doar cercetările desfășurate în cadrul unei paradigme conexioniste, ci și pe cele din alte paradigme ale studiilor de inteligență artificială, cum sunt robotica situată, modelările bazate pe comportament, care au la origine teoria cogniției încorporate, ca și cele care țin de neuroștiințe, cum sunt, de exemplu, modelările neuronale.

În cadrul neuroștiințelor, analiza activității cerebrale din perspectiva TSDN, concepția că ea are la bază o dinamică deterministă haotică au început să capete adepți în deceniul opt al secolului trecut, fiind susținută de mai mulți autori cum ar fi Babloyantz, Nicolis, Kaczmarek, Rosch și Barar (Babloyantz, 1987). Boynton (1987) evidențiază faptul că au existat autori care au sugerat posibilitatea codării unei informații senzoriale și motorii specifice în dimensiunea spațială a activității EEG din diverse părți ale creierului, încă dinainte de această perioadă, înainte de studiul lui Skarda și Freeman (1987) care a contribuit semnificativ la răspândirea acestei idei. El citează cazul lui De Mott, care în 1970, în lucrarea "Toposcopic Studies of Learning", face afirmații similare cu cele ale lui Skarda și Freeman, invocând, la rândul său, alte cercetări mai timpurii, publicate în decursul deceniului șase al secolului trecut. După cum s-a remarcat și în partea introductivă, utilizarea TSDN în studiul proceselor cerebrale a avut și ea un rol în încurajarea dezvoltării aplicațiilor TSDN în psihologie și, de asemenea, un rol în crearea unor modele dinamice pentru procesele psihice care au ca substrat procesele cerebrale investigate prin prisma dinamicii neliniare.

Din punctul de vedere al dezvoltării instituționale și al conturării unei științe independente, se constă că, odată cu anii '90, începe înființarea de organizații, departamente în cadrul universităților și apar jurnale științifice care au ca obiective aplicarea principiilor TSDN, a teoriei haosului și a altor teorii conexe în studiul fenomenelor cognitive (Harter, 2004, în Ibáñez, 2007).

Există, în prezent, și câțiva psihologi români preocupați de o perspectivă dinamică asupra psihicului. În mod particular, au scris lucrări mai importante pe această temă, I. Mânzat (1999, în Moraru, 2006), care s-a concentrat predominant pe aplicațiile sinergeticii, și I. Moraru (2006), interesat cu precădere de teoria haosului.

Se poate conchide că, în istoria psihologiei, în cadrul diverselor școli de gândire care s-au succedat, dominând la un moment dat peisajul cercetării psihologice, întotdeauna au existat intuiții care să atragă atenția asupra necesității unei abordări dinamice complementare sau s-au obținut date care nu puteau fi interpretate în cadrul general dominant, solicitând o abordare dinamică alternativă.

Argumente în favoarea unei modelări a activităților cognitive superioare prin prisma conceptelor și metodologiei TSDN

Așa cum s-a menționat și mai sus, primele și cele mai apreciate aplicații ale dinamicii neliniare au fost în domeniul proceselor psihice considerate de nivel inferior, cum sunt cele motrice, cele senzoriale și perceptuale. Una din principalele explicații posibile este aceea că la acest nivel s-au putut face mai ușor măsurători cantitative și continue. În plus, procesele senzoriale și motorii interacționează în mod direct cu un mediu care este, prin natura sa, continuu și mai ușor cuantificabil. De aceea, s-au putut elabora mai ușor modele dinamice cu caracter cantitativ, mai convingătoare, și nu doar modele calitative. Acestea din urmă au fost, de multe ori, criticate, în baza argumentului că ar furniza doar o redescriere în termenii TSDN a desfășurării fenomenelor psihice, fără ca ea să aibă vreo utilitate practică, pentru că nu poate oferi predicții numerice precise. În domeniul studiului proceselor cognitive superioare, modelele dinamice nu sunt cele care predomină, datorită faptului că aici se înregistrează dificultățile cele mai mari în a se folosi în mod riguros metodologia actuală a TSDN. În afară de posibilitățile mai reduse de a obține măsură-

tori precise ale unor variabile dinamice de ordin cognitiv, obstacolul principal, aşa cum s-a evidenţiat şi mai sus, este acela al realizării unui număr mare de măsurători pentru a obţine serii temporale relativ lungi. Un alt obstacol ar fi acela al nestaţionarităţii dinamicii proceselor investigate, care se schimbă pe parcursul înregistrărilor ca urmare a schimbării parametrilor de control din mediu, ceea ce va face dificilă folosirea tehnicilor celor mai cunoscute de analiză a seriilor temporale.

Există însă argumente pentru a susţine că şi astfel de "traduceri" în limbajul TSDN, ca cele realizate prin intermediul modelelor calitative, pot fi utile. Ele nu sunt simple reformulări, ci oferă o schimbare a cadrului interpretativ, având consecinţe la nivelul metodologiei cu care se abordează investigarea fenomenului studiat. De exemplu, ele ar permite emiterea de noi ipoteze (de ordin calitativ), schimbarea design-ului experimental, a genului de date obţinute şi a modului în care sunt ele analizate. Se vor găsi dovezi în acest sens în studiile experimentale care vor fi citate în următoarele secţiuni. Şi din punct de vedere pragmatic, pătrunzând în domeniul psihologiei aplicative, mai ales în psihologia clinică, educaţională şi organizaţională, modelele dinamice ar fi utile. Ele ar fi capabile să furnizeze, dacă nu o anticipare foarte exactă a rezultatelor unei proceduri de control al unui fenomen psihic de interes, cel puţin o înţelegere a efectelor obţinute cu ajutorul ei, a limitelor în posibilităţile de a exercita controlul asupra unui anumit proces psihic sau sugestii pentru elaborarea de noi proceduri. În plus, modelele calitative nu ar trebui excluse din start, pentru că munca teoreticianului într-o ştiinţă, faţă de a cercetătorului experimentalist, este de a balcia, de a explora întregul câmp al posibilităţilor. În acest fel, s-ar împiedica o interpretare unilaterală a datelor culese în cadrul experimentelor, exclusiv prin prisma teoriilor care au stat la baza proiectării lor, ignorându-se explicaţii alternative la fel de plauzibile. Prin urmare, chiar şi un demers strict teoretic în ceea ce priveşte aplicarea TSDN în studiul proceselor cognitive superioare ar fi util. El ar fi o sursă de interpretări noi pentru rezultatele experimentale obţinute până acum în cadrul altor paradigme teoretice. O descriere a proceselor cognitive superioare în termenii TSDN în cadrul unor modele calitative oferă două avantaje suplimentare. Pentru că TSDN are un caracter interdisciplinar, ca o ştiinţă a formării paternurilor cu substrat dinamic, modelele dinamice pot servi ca o punte de legătură între psihologia cognitivă şi alte domenii ale psihologiei sau ale ştiinţei, în general. În acest context, de cel mai mare interes ar fi apropierea limbajului folosit în psihologia cognitivă de

acela al cercetătorilor din domeniul inteligenței artificiale, domeniu în care modelele dinamice și terminologia TSDN au câștigat un important teren în ultimele două decenii. O astfel de apropiere terminologică ar fi benefică din două motive. Pe de o parte, ea ar facilita comunicarea cu specialiștii care pot ajuta psihologii la validarea unor modele ale cogniției prin intermediul unor simulări în mediul artificial. Pe de altă parte, ea ar contribui la realizarea unor noi progrese în dezvoltarea inteligenței artificiale. Astfel s-a întâmplat, de exemplu, în cazul schimbării principiilor de proiectare a locomoției roboților, pe baza modelelor dinamice ale locomoției umane (Lungarella, Metta, Pfeifer și Sandini, 2003), cum sunt cele realizate de Thelen (1992) și colaboratorii săi.

De asemenea, apreciez că, indiferent de ce poziție se adoptă în legătură cu disputa actuală cu privire la necesitatea și rolul introducerii aplicării conceptelor dinamicii neliniare în studiul activităților cognitive superioare, trebuie să se recunoască următoarele. Sistemele senzorio-motorii și cele cerebrale sunt considerate, din ce în ce mai mult, în literatura științifică a putea fi înțelese mai bine prin modelarea lor ca sisteme dinamice neliniare. Prin urmare, ar fi necesar să se explice cum se ajunge de la acest tip de cogniție de natură dinamică de la nivelele inferioare de organizare, la cogniția de la nivelele superioare de organizare, indiferent dacă aceasta din urmă este socotită a fi sau nu de natură exclusiv simbolică, de natură dinamică sau mixtă. În acest context, studiul legăturii dintre nivelul inferior și cel superior al cogniției nu se poate realiza decât ținând cont de conceptele dinamicii neliniare. E important să se remarce, însă, încă de la început, și că, într-un cadru teoretic dat de conceptele dinamicii neliniare, granița dintre procesele cognitive inferioare și cele superioare este relativ puțin definită (Tuller, et al., 1994; Stränger și Hommel, 1996), existând chiar tendința de a reduce procesualitatea psihică de nivel superior la nivelul senzorio-motor, așa cum se va vedea și mai jos.

Un argument în plus în favoarea unui studiu din punct de vedere dinamic al proceselor cognitive superioare, chiar și calitativ, ar fi acela că, deși se vorbește adesea despre rolul interacțiunii în cadrul proceselor cognitive, se pornește de la presupunerea că aceasta ar putea fi redusă la studiul acțiunii, ca o succesiune de două acțiuni: directă și reciprocă. Dar ar putea exista și o poziție alternativă, în care studiul acțiunii să pornească de la cel al interacțiunii. La nivelul speculației, o sugestie ar fi aceea că orice mișcare, schimbare, este rezultatul unei interacțiuni. Iar acțiunea este o mișcare organizată printr-o altă mișcare, adică o interacțiune

organizată prin alte interacțiuni, organizare care îi conferă direcționalitatea. Așa cum din vid se nasc simultan particula și antiparticula, la fel, în momentul acțiunii se nasc deopotrivă acțiunea și reacția. Împreună formează un tot. Chiar dacă între ele există un decalaj în timp, acesta nu înseamnă, în mod necesar, că reacția nu a fost predeterminată împreună cu acțiunea, că acțiunea cauzează în mod condiționat reacția. Decalajul în timp nu este în mod necesar semnul cauzalității. În fond, metoda experimentală este doar aparent superioară metodei corelaționale. Ea demonstrează, în mod particular, o covarianță (în fapt o corelație pe termeni reduși) în timp. Iar această covarianță este interpretată ca fiind reflecția unei relații cauzale. Dar este posibil ca această covarianță să fie o asociere temporală care să aibă o altă cauză, independentă de termenii care s-au pus în relație sau să fie rezultatul unei dinamici intrinseci. Într-o variantă finalistă, o covarianță ar avea și o interpretare inversă, schimbându-se relația de determinare, astfel încât cele ce se vor întâmpla să fie cauze pentru cele ce s-au întâmplat. De aceea, pentru acele situații în care este greu să se determine care este cauza și care este efectul, care este acțiunea și care reacția, când însăși distincția cauză-efect poate să dispară, apărând cauzalitatea circulară (situații care se întâlnesc și la nivelul fenomenelor cognitive), ar fi nevoie de un cadru teoretic și metodologic specific. Un astfel de cadru ar putea fi acela al TSDN, care dispune de instrumentele conceptuale potrivite pentru a aborda procesele de interacțiune, caracterizate prin cauzalitate circulară, prin sinteza pasivului cu activul.

Un alt avantaj al unei abordări dinamice, inclusiv la nivel calitativ, a proceselor cognitive este acela că, în acest mod, se readuc în prim plan problemele raportului dintre continuu și discret, static și dinamic, potențial și actual în abordarea fenomenului cogniției și se propun noi soluții pentru ele.

Astfel, în cadrul TSDN, este posibilă o descriere mai convingătoare a modului în care discontinuitatea rezultă din continuitate, prin conceptele de singularitate, atractor sau bifurcație, față de o abordare clasică, de tip formalist-simbolic. Aceasta are dificultăți în a explica apariția continuității din discontinuitate. Totuși, este inevitabil să nu se remarce că o alternativă pentru ambele variante ar fi să se susțină că fie discontinuitatea, fie, respectiv, continuitatea, sunt explicabile ca rezultat al unei iluzii la nivelul percepției. Ele ar fi interpretabile ca fenomene de natură subiectivă, care nu reușesc să realizeze o reprezentare adecvată a unei realități care ar fi, ontologic, prin natura sa, fie exclusiv continuă,

sau, respectiv, exclusiv, discontinuă. În acest context, al discuțiilor purtate în jurul problemei continuității și discontinuității, este greu de înțeles de ce în fizică, care este o știință care are actualmente un grad mai mare de rigurozitate decât psihologia, se admit fenomene care au deopotrivă o natură continuă și una discretă (cum este cazul naturii duale de undă și corpuscul a luminii), în vreme ce în psihologie nu se întâmplă acest lucru. De exemplu, se remarcă o cantonare la nivel teoretic în a considera că reprezentările mintale sunt fie exclusiv continue, analoge, fie exclusiv discrete, simbolice. Există susținători ai unei abordări dinamice a fenomenelor cognitive care afirmă că, în esență, modelele dinamice (și, prin urmare, și procesele psihice astfel modelate, cum ar fi, de exemplu, reprezentările mintale) presupun continuitatea, unul dintre cei mai cunoscuți fiind van Gelder (1998). Dar ei se bazează pe o definiție foarte strictă a sistemelor dinamice, ca sisteme de ecuații diferențiale. Motivul adoptării sale a fost acela al realizării unei diferențieri foarte clare a abordării dinamice a fenomenelor cognitive în raport cu altele, mai ales cu cele de tipul computaționalismului clasic formal-simbolic. Există însă și autori, cum este Kaneko (1998), care cred că un model dinamic pentru fenomenele cognitiv superioare trebuie să explice modul în care se pot forma reguli de calcul și simboluri discrete din comportamentul dinamic, integrând, practic, vechile modele în cele noi, de tip dinamic.

Din acest punct de vedere, este importantă distincția făcută de Kaneko (1998) privind existența a două tipuri de demersuri posibile în abordarea dinamică a fenomenelor cognitive. Primul tip, cel pe care s-au concentrat până acum majoritatea studiilor, a pus accentul pe investigarea modului în care din reguli simple pot să apară comportamente dinamice complexe (încercând să găsească regulile care stau la baza diferitelor dinamici observate). Este vorba despre un demers în care se pleacă de la discret pentru a se ajunge la continuu, dinamic. Autorul mai sus citat arată însă că, pentru a reuși să se abordeze cu succes, din punct de vedere dinamic, fenomenele cognitive superioare, ar fi necesar un alt tip de demers, cel invers. Așa cum s-a arătat și mai sus, acesta ar porni de la dinamic, de la suportul proceselor continue, pentru a ajunge la discret, la comportamentul simbolic. Al doilea tip de demers este socotit ca posibil, plecându-se de la ipoteza că există o complementaritate între seria de concepte specifice psihologiei cognitive de tipul computaționalismului clasic: simbol, regulă, sintaxă și seria de concepte mai frecvent întâlnite în studiile de tip dinamic sau neuropsihologic: imagine, comportament,

semantică. Kaneko (1998) interpretează acest tip de complementaritate ca fiind de același gen cu aceea care apare în sistemele dinamice complexe. Și aici, este prezentă o complementaritate între parte și întreg, pentru că partea nu poate fi înțeleasă decât prin întreg, iar întregul numai prin parte. Ca urmare, de exemplu, se presupune existența aceleiași circularități, care își are originea în natura dinamică a sistemului psihic, dintre semantică și sintaxă, fiecare dintre ele neputând fi înțeleasă decât în raport cu cealaltă. Același lucru se afirmă și despre raporturile dintre reprezentările de tip discret (simboluri) și cele de tip continuu (imaginile). De aceea, Kaneko (1998) crede că ar trebui să se schimbe procedeul cel mai întâlnit actualmente în neuroștiințe și inteligența artificială, acela de a căuta modul în care un comportament complex apare numai din structuri sintactice. El pledează pentru un nou demers, propriu abordării dinamice, în care să se caute modul în care apar structuri sintactice dintr-un comportament dinamic complex, cum se ajunge de la reprezentarea continuă (imaginea, paternul) la simboluri și reguli. Kaneko (1998) susține că TSDN este potrivită pentru a realiza acest lucru pentru că oferă o cale de a descrie schimbarea în paternurile analoge.

Dar indiferent dacă reprezentările sunt considerate a fi analoge (continue) sau simbolice (discrete), cu rare excepții, concepția comună este aceea că reprezentările mintale trebuie să fie statice (pentru a se putea opera cu ele), ideea de reprezentare dinamică făcându-și cu greu adepți. Astfel, reprezentarea mintală este privită a fi mai pasivă chiar decât un obiect fizic, care este capabil să aibă o dinamică intrinsecă proprie. Într-o concepție bazată pe TSDN, dihotomia dintre static și dinamic privitoare la reprezentările mintale și-ar avea soluția în apelul la noțiunea de stabilitate. Formele de reprezentare care apar ca statice ar putea fi socotite a fi reprezentări dinamice care au un grad mai mare de stabilitate.

De asemenea, în contextul dinamicii neliniare, este posibil ca ceea ce este potențial, nemanifest, să se afle în interacțiune directă cu ceea ce este actual, manifest, sau cu altceva potențial, fără ca să fie nevoie de o actualizare prealabilă, cum se întâmplă în cazul modelelor formal-simbolice ale cogniției. Un exemplu ar fi cel al sistemelor dinamice bistabile, cu doi atractori sau două modalități comportamentale, în care, întotdeauna, una dintre structuri va fi potențială, iar cealaltă actuală. Ele se vor afla în competiție, actualizându-se pe rând, în funcție de context. Un alt exemplu ar fi acela al traiectoriilor actuale care se află într-un bazin de atracție și care se îndreaptă către atractori, ca structuri potențiale.

Cadrul conceptual al TSDN poate oferi posibilitatea rezolvării şi a altor paradoxuri cu care cercetătorul se întâlneşte frecvent: cum este posibil ca un lucru să se schimbe şi totuşi să rămână acelaşi, păstrându-şi identitatea (soluţia fiind apelul la conceptele de stabilitate şi continuitate în comportamentul unui sistem dinamic), cum unitatea rezultă din diversitate (soluţiile propuse fiind noţiunile de emergenţă şi structură fractală), cum un sistem poate avea simultan un comportament determinist şi, în acelaşi timp să fie, impredictibil, de tip agentic, cu un caracter autonom (rezolvarea implicând noţiunea de lege dinamică neliniară care generează un comportament haotic).

O abordare de tip dinamic ar putea contribui şi la redefinirea raporturilor dintre procesele cognitive şi cele afectiv-motivaţionale. De exemplu, direcţionalitatea în procesele gândirii ar fi explicabilă şi în afara intervenţiei exterioare a unui sistem afectiv-motivaţional, ca fiind un rezultat emergent al dinamicii sistemului cognitiv. În contextul unei astfel de ipoteze, se sugerează că procesele afectiv-motivaţionale ar reprezenta, de fapt, o cale de a se face referire la direcţionalitatea şi dinamica unui sistem prin care se generează informaţie. Un astfel de sistem dinamic psihic nici nu ar trebui să fie socotit ca afectiv sau cognitiv, în sine, termenii de cognitiv şi afectiv făcând doar referire la diferite aspecte ale comportamentului său. În acest mod, şi dihotomia cognitiv-afectiv ar putea fi văzută într-o altă lumină din perspectiva dinamicii neliniare.

Expunerea introductivă de mai sus a inclus, predominant, câteva consideraţii de ordin general şi propuneri personale ale autoarei acestei lucrări privitoare la necesitatea şi beneficiile introducerii modelelor dinamice în psihologia cognitivă, chiar şi atunci când ele sunt de natură calitativă. S-a intenţionat ca, astfel, să se fixeze un cadru pentru prezentare mai detaliată care va urma. Ea va include cele mai importante argumente aduse în literatura de specialitatea în favoarea unei abordări dinamice a proceselor cognitive, în general, şi a celor de nivel superior, în particular. După cum se va constata, unele dintre ele se suprapun cu cele evidenţiate deja mai sus.

Argumentele invocate de diverşi autori sunt, în principal, de două tipuri. Unele se concentrează pe identificarea erorilor sau a deficienţelor teoriilor explicative existente, altele pun accentul pe avantajele pe care le oferă, în sine, o abordare dinamică a fenomenelor cognitive. În cele de mai jos ele vor fi grupate însă după conţinutul lor.

Argumente care fac referire la proprietăți ale creierului

Haken (2003b) face următoarele două observații cu privire la unele proprietăți ale creierului uman, care ar indica limitele unei abordări de tip clasic a cogniției. În primul rând, creierul uman pare capabil să rezolve probleme (cum e și percepția unei figuri ambigue) care sunt insolvabile algoritmic, adică prin operații logice secvențiale (așa cum presupune computaționalismul clasic). În al doilea rând, autorului citat îi apare evident că creierul uman este un sistem dinamic complex care evoluează în timp.

Thelen (2003) susține că o concepție asupra cogniției ca fiind un sistem dinamic care evoluează în timp cuplat cu mediul și scufundat în acesta este plauzibilă biologic pentru că ceea ce se cunoaște despre structura și funcționarea creierului este în acord cu o asemenea concepție. Acestea indică nu doar o localizare anatomică a funcțiilor, dar și o prelucrare gradată, distribuită, interactivă a informației, în baza unei conectivități complexe. O astfel de conectivitate are două caracteristici aparte, care sugerează necesitatea recurgerii la conceptele TSDN. După cum arată Edelman (1987, 1993, cf. Thelen, 2003), ea este astfel încât fluxul procesării nu este unidirecțional, nici paralel, ci atât de dens încât outputul este simultan input. În plus, activitatea nervoasă este continuu activă și multiplu determinată, neexistând o cale sau rețea unică pentru a îndeplini o anumită sarcină, dat fiind că fiecare rețea are posibilitatea de a participa în sarcini multiple. Prin urmare, comportamentul nu ar putea fi atribuit vreunei cauzalități seriale sau ierarhice, care este implicit presupusă de un computationalism de tip simbolic, cutiile și săgețile din modelele clasice fiind apreciate ca inadecvate pentru a reda natura multiplă și reciprocă a proceselor din rețelele cu conectivitate complexă. Dovezile care susțin o astfel de afirmație, ar fi, potrivit lui Thelen (2003), datele recente, care indică faptul că nu se mai poate face o distincție clară între ceea ce este arie senzorială și ceea ce este arie motorie, existând suprapuneri între acestea. Spre exemplu, un același neuron a răspuns pentru aspecte diferite ale unei sarcini: la prezentarea unui stimul vizual, la evocarea lui și la luarea unei decizii motrice sau există așa numiții neuroni "vizual-motorii" din cortexul parietal la maimuțe (Taira et al., 1990, cf. Jordan, 2003), care descarcă deopotrivă la perceperea și manipularea unui obiect. Alți neuroni, numiți "neuroni oglindă", aflați în cortexul premotor (Di Pellegrino, 1992, cf. Jordan, 2003), răspund deopotrivă la acțiuni percepute sau executate. Conform lui Thelen (2003),

acest lucru sugerează că graniţele dintre percepţie, acţiune şi cogniţie sunt mai greu de definit decât s-a crezut până acum. Prin urmare, concluzia sa generală şi argumentul său principal este că trăirile noastre sunt percepute ca neîntrerupte şi integrate tocmai pentru că creierul procesează ceea ce primeşte din mediu într-un flux dinamic, neîntrerupt şi integrat.

Părerea lui Spivey şi Dale (2006) este că reprezentările demonstrate a exista la nivel neuronal, paternurile de activitate a reţelelor nervoase, au două proprietăţi care le diferenţiază de reprezentările de tip simbolic: continuitatea în timp şi continuitatea în spaţiu. Cele două tipuri de continuitate ar fi rezultatul inevitabil al complexităţii creierului, alcătuit din vaste reţele nervoase care fuzionează, a căror activitate emerge gradual din interacţiunea neuronilor, generând paternuri la toate scalele spaţio-temporale. Continuitatea spaţio-temporală indică faptul că stările mintale ar trebui să fie mai degrabă gradate în general, nu doar ca stări de tranziţie între două reprezentări mintale discrete. Majoritatea timpului creierul s-ar afla în tranziţie între stări mintale identificabile şi nu în astfel de stări (ele reprezentând doar stări atractoare ideale, traiectoria dinamicii cerebrale vizitând, însă, mai degrabă pentru scurt timp bazinul lor de atracţie). Opinia autorilor citaţi este că descrierea dinamicii temporale continue a paternurilor de activitate neuronală prin folosirea analogiei computaţiei cu simboluri discrete nu este doar una foarte aproximativă, ci poate fi şi una înşelătoare. Ei arată că, deşi este posibil matematic să se reducă o traiectorie continuă la un şir de simboluri (prin dinamica simbolică), acest lucru nu ar fi practic fezabil din punct de vedere statistic. Motivul e acela că vor apărea probleme cu localizarea exactă a partiţiilor asociate simbolurilor şi, mai mult, nu se va putea explica modul în care un "simbol logic discret perfect repetabil" este reprezentat la nivelul unui sistem nervos care este, intrinsec, afectat de zgomot şi în care informaţia este reprezentată distribuit (adică o instanţiere fizică a unei stări simbolice este imposibilă). La aceste dificultăţi s-ar adăuga probleme ţinând de arhitectura cerebrală, care ar trebui să aibă un număr nerealist de mare de module între care să circule şirurile de simboluri. Soluţia întrevăzută de autorii citaţi este aceea că, dat fiind că activitatea cerebrală şi comportamentul prezintă în mod inevitabil continuitate temporală, şi la nivelul reprezentărilor este mai firesc să se renunţe la segmentarea timpului în părţi prin crearea unor reprezentări simbolice distincte care nu se suprapun, ceea ar putea sluji la interpretarea şi predicţia rezultatelor experimentale în ştiinţele cognitive. Soluţia de compromis a unei arhitecturi hibride (cu o componentă simbolică şi una dinamică) este

respinsă de Spivey şi Dale (2006), în baza argumentului că ea ar presupune o scindare prea drastică a minţii între o parte care este în acord cu neurofiziologia şi una care e în dezacord cu aceasta. În plus, cele două părţi ar trebui să se afle, în mod necesar, în interacţiune, ceea ce ar însemna că partea simbolică nu ar putea fi suficient de stabilă pentru a stoca simboluri care rămân complet neschimbate, în timp ce partea dinamică trece prin diverse stări atractoare.

Spivey şi Dale (2006) sesizează şi tendinţa oponenţilor unei abordări dinamice a cogniţiei ca, de fiecare dată când se prezintă dovezi că un proces mintal are o dinamică temporală continuă (sau că se bazează pe reprezentări distribuite), atunci acel proces este trecut în categoria proceselor perceptive, fiind eliminat din rândul proceselor cognitive de nivel superior, pentru că doar acolo o prelucrare analogă li se pare a fi firească. Dar, după cum menţionează Spivey şi Dale (2006), există date care indică o continuitate temporală a dinamicii reprezentaţionale la nivelul categorizării, recunoaşterii cuvintelor, prelucrării propoziţiilor, în atenţia vizuală şi deciziile perceptuale. Îndepărtarea acestora din rândul proceselor cognitive de ordin superior nu li se pare justificată numai în baza motivului că ele nu se bazează pe reprezentări simbolice statice şi discrete. Opinia lor este aceea că, mai degrabă decât să se impună proceselor cognitive "proprietatea nerealistă a funcţionării într-o modalitate simbolic discretă", care nu poate fi implementată de "hardware-ul neuronal", ar fi de preferat soluţia unei fuzionări graduale a percepţiei, cogniţiei şi acţiunii. Argumentul invocat de ei este acela că nu pare şi nici nu e necesar să existe un "stadiu intern" în care paternurile de activare neuronală gradată sunt convertite în simboluri unitare, izolate, care să aibă valori logice de adevăr. Şi dacă ar exista, ar trebui ca acestea să fie reconvertite în paternuri de activare distribuite, gradate, care se ştie că apar în cortexul motor. Cei doi autori citaţi recunosc că poate fi comod să se interpreteze cogniţia ca având la bază interpretări diferite uşor de etichetat ale unor stimuli individualizaţi care au descrieri simbolice distincte, care nu se suprapun. Dar realitatea, care pare a fi incompatibilă cu o astfel de viziune, este aceea că creierul se află în majoritatea timpului în stări care nu permit descrieri simbolice discrete, aşa cum s-a arătat şi mai sus. Prin urmare, lor li s-ar părea mai firesc ca cogniţia să nu fie socotită a fi o computaţie digitală care intermediază între percepţie şi acţiune ca procese analoge, având rolul de a reduce distribuţiile probabilistice la simboluri discrete, ci ca fiind la fel de analogă şi gradată ca procesele senzoriale şi motorii. Reducţia la entităţi discrete, dacă are loc

într-adevăr, nu s-ar produce decât la nivelul răspunsurilor manifeste, dar şi atunci e posibil ca acestea să fie un amestec de mai multe programe motorii (Spivey şi Dale, 2006). Acestea sunt argumentele pentru care Spivey şi Dale (2006) cred că un prim pas necesar este să se reorienteze cercetările din psihologia cognitivă prin renunţarea la metafora calculatorului digital, înlocuindu-se conceptul de reprezentări discrete cu paternuri de activitate neuronală continue în timp. Astfel s-ar pregăti terenul pentru ca, ulterior, să se exploreze în ce măsură traiectoriile continue dintr-un spaţiu stare cognitiv (neuronal sau al cuplării organism mediu) au o natură reprezentaţională, pentru ca în final să se ajungă la o integrare a rezultatelor obţinute în psihologia cognitivă tradiţională, în conexionism, în neuroştiinţe, psihologia ecologică şi TSDN.

Incompatibilitatea dintre arhitecturile cognitive de tip von Neumann (adică de tip computaţionalist simbolic) şi cea recunoscută a creierului este evidenţiată de Mitchell (1998). Astfel, sistemele de tip computaţionalist simbolic au un control centralizat, un acces aleatoriu la conţinuturile memoriei şi o prelucrare a informaţiei deterministă, de tip serial. În schimb, creierul este alcătuit dintr-un număr imens de componente simple pentru care nu s-a găsit un centru de comandă, între care există interacţiuni mai mult sau mau puţin locale, fiind caracterizat printr-o structură spaţială, un paralelism masiv, printr-o dinamică complexă. El este afectat de zgomot, ceea ce face ca prelucrările sale să fie mai degrabă stocastice. Toate aceste proprietăţi sunt mai compatibile cu o perspectivă dinamică asupra activităţii nervoase decât cu una de tip computaţionalist simbolic.

Uhr şi Honavar (1994) conchid şi ei că datele recente din neuroştiinţe sunt mai compatibile cu o abordare dinamică a cogniţiei, indicând că sistemul nervos este alcătuit la toate nivelurile din sisteme dinamice complexe neliniare (lucru care ar fi dovedit începând cu paternurile descărcărilor la nivel neuronal până la caracteristicile globale ale EEG), care, spre deosebire de reţelele neuronale artificiale, operează în apropierea instabilităţii, ceea ce le permite să răspundă mai rapid şi mai flexibil la schimbările din mediu.

Activitatea haotică a creierului poate fi susţinută în baza următoarelor argumente, formulate de Skarda şi Freeman (1987): 1) haosul e forma de bază a activităţii neuronale colective aşa cum a fost ea înregistrată; 2) haosul oferă o sursă controlată de zgomot, care e necesar pentru a asigura simultan accesul la paternurile învăţate şi învăţarea de paternuri noi; 3) un sistem care are nevoie de o activitate aleatorie, cum este şi cel

nervos, o obține mai eficient și mai constant printr-un generator de haos decât printr-o sursă de zgomot.

Foarte pe scurt, esența argumentelor de mai sus ar putea fi concentrată după cum urmează: dat fiind că creierul este un sistem dinamic, cel mai probabil haotic, cogniția ar trebui să fie și ea abordată în baza TSDN câtă vreme este considerată a fi o proprietate emergentă a funcționării creierului (Ibáñez, 2007).

Argumente în favoarea teoriei cogniției încorporate

Thelen (2003) susține că o cogniție încorporată se întemeiază pe două tipuri de continuități. Continuitatea în timp se referă la continuitatea proceselor senzorio-motorii integrate, care nu dispar după primele luni de viață, ci doar se dezvoltă ca rafinament, rapiditate, flexibilitate și grad de generalitate. Continuitatea nivelurilor se referă la deducția că valoarea evenimentelor mintale ar trebui să fie aceeași cu cea a percepției și acțiunii, de vreme ce toate sunt atât de strâns conectate. Prin urmare, în concepția autoarei citate, nu ar putea exista o "cunoaștere" pură în condițiile în care cunoașterea implică, în fiecare act al său, senzații corporale și amintiri ale acestora, necesitând "fuzionarea evenimentelor mintale împreună cu indiciile în schimbare ale situației prezente". Astfel, este dezavuată și perspectiva clasică a existenței unor entități abstracte, "statice, discrete și independente de context" organizate în "structuri logice și de cunoștințe". Tot Thelen (2003) susține că interconexiunile minte-corp-lume pot fi cel mai bine surprinse cu ajutorul limbajului dinamicii.

În opinia lui Jordan (2003), absența unei teorii a cogniției încorporate a fost aceea care a condus la o înțelegere greșită a controlului psihic, considerând-se până acum că obiectul controlului trebuie să fie outputul (pe baza conceptualizării percepției strict ca input care controlează acțiunea identificată strict ca output). Însă o analiză a sistemelor de control l-a condus pe autorul citat să conchidă că obiectul controlului este, de fapt, inputul, iar outputul este doar un mijloc prin care sistemele de control "mențin un anumit nivel specificat de input". În plus, un sistem nu ar putea ști vreodată dacă outputurile sale sunt corecte sau nu pentru a le folosi ca obiect al controlului, pentru că numai prin intermediul inputurilor poate afla acest lucru. Din aceste motive, Jordan (2003) apreciază că conceptele servo-mecanismelor (care au dominat psihologia cognitivă) ca model pentru sistemele cognitive nu sunt adecvate acestui scop. El contrapune o explicație autocatalitică uneia care nu ține cont de încorporarea cogniției, considerând-o de preferat pentru că este mai parcimo-

nioasă, oferind şi avantajul de a utiliza aspectele fenomenologice ale activităţii psihice pentru descrierea şi explicarea comportamentului (depăşindu-se epifenomenalismul) şi de a integra, astfel, intenţionalitatea şi conştiinţa în cadrul proceselor naturale, investigabile ştiinţific, după cum se va vedea într-o secţiune viitoare.

Argumente bazate pe proprietăţile recunoscute ale sistemului cognitiv

Kelso (2003) observă că este un clişeu că cogniţia umană se desfăşoară în timp şi că interacţiunile, neliniaritatea (schimbări mici care produc efecte importante şi schimbări importante care nu produc nici un efect), emergenţa (paternuri de comportament cu sursa în interacţiunea şi coordonarea componentelor individuale) şi dependenţa de context a sensului informaţiei apar mereu în ştiinţele cognitive, fără însă a fi înţelese sau a li se acorda o importanţa meritată. Totuşi, ele indică faptul că o abordare propriu-zis dinamică a cogniţiei ar fi utilă şi necesară.

În afară de cele remarcate mai sus, alte câteva proprietăţi ale proceselor cognitive pe care abordarea dinamică le-ar putea descrie şi explica în mod firesc (dar care sunt fie ignorate, fie tratate forţat, într-o manieră ad-hoc, de către o abordare computaţionalistă de tip clasic) au fost identificate de Smith şi Thelen (1993). Acestea ar fi următoarele: procesele cognitive a) se desfăşoară întotdeauna în timp; b) sunt deopotrivă continue şi discrete; c) presupun subsisteme multiple active în mod simultan, aflate în interacţiune; d) structurile lor complexe emerg în timp, nefiind prezente de la bun început; e) se desfăşoară pe mai multe scale temporale, existând interacţiuni între procesele de la diferite scale; f) sunt parte integrantă a unui corp şi a unui mediu fizic.

Argumente care se referă în mod direct la deficienţele computaţionalismului

Propunând un model dinamic care exprimă o poziţie sceptică faţă de reprezentaţionalism, Haselager, Bongers şi van Rooij (2003) îşi motivează poziţia cu o serie de argumente care se referă la dificultăţile cu care se confruntă formatele de reprezentare actuale. În primul rând, ei invocă binecunoscuta problemă a cadrului (în engleză, "frame problem"), conform căreia este computaţional imposibil să se reprezinte adecvat toate aspectele relevante ale unei situaţii şi ale tuturor consecinţelor care pot deriva dintr-o acţiune. Părerea lor este aceea că nu doar reprezentările

simbolice, dar nici măcar reprezentările distribuite, susținute de poziția conexionistă, nu pot rezolva această problemă. Autorii citați susțin, de asemenea, că reprezentările simbolice sunt prea rigide pentru a explica cogniția umană, în parte și pentru că sunt prea similare limbajului. Reprezentările conexioniste au și ele deficiențe, dat fiind că, în concepția acestor autori, sistematicitatea le-a fost dovedită doar în domenii limitate, iar obținerea lor este anevoioasă, depinzând prea mult de caracteristicile setului de antrenament. Haselager et al. (2003) constată și o diluare a înțelesului noțiunii de reprezentare: de la șiruri de simboluri guvernate de reguli sintactice și semantice s-a ajuns ca noțiunea să fie aplicată oricărui sistem care "execută o funcție cu cel puțin un pas intermediar", astfel încât outputul unei etape este input pentru următoarea etapă a unui proces (ceea ce ar fi similar situației de a considera ca sistem reprezentațional și o sită). Toate aceste argumente îi determină pe autorii mai sus citați să propună o strategie de cercetare în care să se pornească de la analiza cazurilor în care e nevoie realmente de explicații care să se bazeze pe reprezentări, cu scopul de a se identifica limita până la care se poate merge fără a le invoca, indiferent de formatul lor. Avantajul unei asemenea strategii, care ar folosi o modelare dinamică fără reprezentări, ar fi acela că ar fi mai economică și mai atractivă. Ei susțin că scepticismul cognitiviștilor față de modelele dinamice nu se justifică, referindu-se, în mod particular, la argumentul acestora că explicația prin reprezentări interne ar permite identificarea unor mecanisme care să dea seama de rezultatele experimentale obținute, în vreme ce modelele dinamice pot oferi doar un mod convenabil de a descrie datele. Contra-argumentul autorilor mai sus menționați este acela că ambele tipuri de abordări "specifică constrângerile care guvernează comportamentul mecanismului actual implementat de corp, creier și mediu", ambele sunt formulate cu mijloace formale, permițând simularea pe calculator. Deosebirea pe care ei o evidențiază este aceea a presupunerilor care se fac în ceea ce privește natura modelelor, nu în relațiile lor cu fenomenul modelat (în particular, dacă reprezentările interne sunt sau nu necesare).

Anderson (2003) include modelele cognitive tradiționale în așa numitul cadru "Senzație-Model-Plan-Acțiune" (SMPA). Există însă niște limite recunoscute în mod general ale acestor modele de tip SMPA, pe care autorul citat le evidențiază. Potrivit acestora, acțiunea presupune construirea unui model al lumii, examinarea sa și folosirea lui într-o serie de pași pentru a atinge o stare dorită. O primă complicație a acestei viziuni, amintită de Anderson (2003), este problema dinamicii mediului:

dacă lumea se schimbă, va trebui schimbat şi modelul mintal al acesteia. Există doar două soluţii întrevăzute pentru a răspunde acestei probleme. Prima implică includerea unei dinamici corespunzătoare în modelul mintal al lumii pentru a putea realiza planuri în funcţie de schimbările aşteptate din mediu. Dar, după cum remarcă Anderson (2003), acest lucru doar mută problema la un alt nivel, pentru că va fi necesar să se monitorizeze dacă schimbările care apar sunt sau nu cele aşteptate şi să se replanifice, dacă acestea nu coincid. A doua soluţie posibilă este de a se include în planurile iniţiale "subplanuri", care să corespundă diferitelor alternative posibile de evoluţie în dinamica mediului. Se admite, însă, că ambele soluţii ar presupune o "explozie computaţională" pentru care ar fi practic greu să se găsească o rezolvare, ea neapărând în cazul planificării realizate la nivel psihic. Pentru a se evita explozia computaţională ar trebui ca replanificarea să aibă loc nu după fiecare schimbare, ci doar după acele schimbări care sunt relevante, putând să afecteze realizarea scopului propus. Astfel, se ajunge la a doua complicaţie pe care o presupun modelele de tip SMPA, aceea a relevanţei. Această complicaţie este, după cum arată Anderson (2003), o problemă profundă pentru orice sistem reprezentaţional, pentru că ea consta, în esenţă, în problema selecţiei a ceea ce ar trebui reprezentat la nivel mintal şi ce nu. Autorul citat crede că o formă mai puţin extremă a tezei antireprezentaţionaliste formulate de Brooks (1991), pe care o derivă din problema relevanţei este aceea că nu are rost să se vorbească de reprezentări dacă nu se ştie care este utilitatea lor, la ce vor servi ele. În concepţia lui Anderson (2003), modelele de tip SMPA rezolvă problema derivării relevanţei doar dacă au un model al lumii complet, absolut, independent de un context particular. Dar o astfel de cerinţă este imposibil de realizat în practică, fiecare agent care elaborează reprezentări trebuind să fie, în mod necesar, selectiv, adecvând reprezentările nevoilor sale.

În ceea ce priveşte ideea computaţionalismului clasic de a considera că procesele cognitive s-ar datora formării şi prelucrării unor reprezentări discrete, distincte, care nu se suprapun, ea este combătută de Spivey şi Dale (2006) în baza aceloraşi argumente cu care Gibson şi Dewey au combătut behaviorismul. Ei arată că cognitivismul clasic doar a înlocuit schema behavioristă clasică "stimul – răspuns" cu aceea de "stimul – interpretare", ignorând însă problema continuităţii fluxului informaţional, a imposibilităţii definirii unor stimuli discreţi, distincţi. Prin urmare, dacă nu pot exista astfel de stimuli, se pune întrebarea de ce ar trebui să existe astfel de reprezentări.

French şi Thomas (2001) remarcă faptul că în modelele care se bazează pe ipoteza sistemelor simbol fizice nu se specifică mecanismele de nivel inferior care produc efectiv tranziţiile între reprezentări. Prin urmare, în concepţia lor, avantajul unei abordări prin TSDN a cogniţiei ar fi acela că oferă o explicaţie parcimonioasă pentru astfel de tranziţii, dat fiind că dintr-o astfel de perspectivă, stările sistemului emerg din dinamica sa intrinsecă, iar tranziţiile între ele se justifică prin schimbarea unor parametri critici. În acest fel, într-un sistem care se autoorganizează, nu mai este nevoie să se invoce existenţa unei unităţi centrale executive misterioase (atât de importantă în modelele clasice din psihologia cognitivă şi din inteligenţa artificială) care să organizeze tranziţiile între stările sistemului.

E greu să se explice tranziţiile menţionate mai sus şi prin ideea de scop, aşa cum apare ea concepută în psihologia cognitivă tradiţională. Barham (1996), citându-l pe Rosen (1991), arată că există argumente că o stare scop nu poate să fie intrinsecă în modelele cognitive de tipul computaţionalismului simbolic, proprietăţile lor teleologice fiindu-le impuse din exterior, prin scopurile introduse de către cei care le-au elaborat. În acest sens, interacţionismul abordărilor dinamice şi al cogniţiei încorporate ar putea oferi o soluţie prin ideea de atractor şi prin cuplarea sistemului cognitiv cu sistemele mediului.

Rockwell (2005) pune sub semnul întrebării modularitatea sistemului cognitiv după cum a fost ea concepută de Fodor în cadrul paradigmei computaţionalismului simbolic. Autorul citat evidenţiază faptul că ideea modularităţii este, în fond, una speculativă (ceea ce însuşi Fodor ar admite) şi că orice cercetare este, într-o anumită măsură, speculativă. Prin urmare, ar fi justificat să se analizeze şi alte ipoteze, alte opţiuni, chiar dacă şi acestea ar fi speculative, investigându-se utilitatea lor, şi chiar dacă este improbabil ca vreo paradigmă asupra cogniţiei să întrunească un consens general. În acest context, Rockwell (2005) susţine că mulţimile atractoare pot modela la fel de plauzibil procesele modulare ca şi modulele prevăzute de Fodor, având însă avantajul că nu au inflexibilitatea acestora în ceea ce priveşte conexiunile prestabilite între ele.

Un alt motiv pentru care abordările dinamice nu ar trebui să fie ignorate, în opinia lui Weiskopf (2004), ar fi incapacitatea modelelor simbolice de a explica inferenţele deductive obişnuite, importante pentru viaţa de zi cu zi, fără a se confrunta cu problema exploziei combinatoriale (legată de problema cadrului, amintită mai sus). Modelele computaţionale

simboliste ar mai avea un dezavantaj comparativ cu cele dinamice: pentru ca să dea seama de proprietăţile temporale ale proceselor cognitive este nevoie să se adauge în acestea, în mod explicit (uneori în mod forţat, artificial), ipoteze suplimentare cu privire la durata acestora în timp, în vreme ce modelele dinamice includ timpul ca variabilă încă de la început (Weiskopf, 2004). Autorul citat remarcă faptul că, până acum, în psihologia cognitivă tradiţională, deşi uneori sunt colectate date cu privire durata proceselor cognitive, mai ales în forma timpilor de reacţie sau de răspuns, ele au fost utilizate mai mult ca sursă de constrângere suplimentară pentru modelele cognitive de tip simbolic (sau ca un criteriu pentru a alege între ele), dar aceste modele, în sine, sunt insensibile la problema duratei proceselor din sistemele fizice în care sunt implementate. În acelaşi sens, Mitchell (1998) subliniază şi că, faţă de abordările dinamice, cea computaţionalistă poate să surprindă şi să descrie cu greu schimbarea temporală continuă în sistemele complexe, cum se presupune că este şi cel cognitiv, nedispunând de un limbaj la fel de potrivit ca cel al TSDN.

Bazându-se pe argumentul că, în vreme ce cogniţia e ireversibilă, computaţia de tip simbolic este reversibilă, Bringsjord şi Zenzen (1996) conchid că procesele cognitive nu pot fi computaţional simbolice.

Argumente care ţin de rezultate generale ale unor studii empirice

Van Geert (2008) aduce în discuţie rezultate experimentale (dând ca exemplu o cercetare întreprinsă de Molenaar, 2004) potrivit cărora relaţia statică dintre două variabile care e valabilă pentru un eşantion de subiecţi nu este în mod necesar aceeaşi cu cea care e valabilă pentru relaţia lor în timp, evidenţiată prin evoluţia sa în cazul fiecărui subiect din eşantion. Astfel de rezultate sunt greu tratabile în modele cognitive de tip clasic. Un alt aspect general, de natură mai degrabă metodologică, pe care l-au evidenţiat studiile empirice, este acela al existenţei unei structuri temporale asociate varianţei neexplicate sau termenului erorii dintr-o distribuţie gaussiană sau una a lui Poisson, alta decât cea presupusă anterior (Berthental, 2007).

Alte argumente în acest sens se vor regăsi în secţiunile dedicate abordării dinamice a diferitelor procese cognitive de nivel superior.

Argumente care ţin de datele introspecţiei

Van Gelder (2000) a dezbătut cel mai pe larg problematica datelor introspecţiei, a fenomenologiei, ca dovezi în sprijinul unei abordări

dinamice. El remarcă faptul că autoobservarea proceselor de gândire nu relevă simboluri şi transformări ale acestora. Autorul citat nu ignoră obiecţia pe care susţinătorii computaţionalismului clasic o pot aduce că procesele simbolice au loc subconştient şi că nu există nici un argument în baza căruia fenomenologia proceselor mintale ar trebui să fie luată în considerare pentru a oferi o intuiţie directă în ceea ce priveşte procesele cauzale implicate de cogniţie (folosindu-se, în acest sens, comparaţia cu imaginile unui televizor care nu ne spun nimic despre modul cum el funcţionează). Dar, remarcă acest autor, problema este că computaţionalismul simbolic ignoră datele fenomenologice de orice tip numai când acest lucru îi convine (de exemplul, nu o face atunci când ia în considerare metoda protocolului gândirii cu voce tare). În opinia sa, astfel de date trebuie considerate în mod general ca un tip de constrângere, alături de alte tipuri de constrângere, în elaborarea modelelor cognitive. Acestea nu au cum să fie complete dacă nu reuşesc să integreze şi datele introspecţiei, chiar dacă ele nu pot oferi o înţelegere directă asupra proceselor care stau la baza lor.

Dintre introspecţiile invocate ca venind în sprijinul modelelor dinamice, van Gelder (2000) o evidenţiază, în prim plan, pe aceea că conştiinţa timpului se desfăşoară în acelaşi cadru temporal cu obiectul observaţiei care evoluează temporal: nu trebuie să aşteptăm până când s-a încheiat evoluţia sa temporală pentru ca să îl percepem ca pe un obiect temporal. De exemplu, nu ar trebui să aşteptăm să se încheie o melodie ca să o percepem ca atare, pentru că fiecare moment al său îl trăim ca pe o parte a melodiei. O astfel de trăire fenomenologică este greu de explicat într-un model cognitiv de tip clasic, care se desfăşoară în două etape distincte: mai întâi codarea simbolică a influxului informaţional şi stocarea sa într-un depozit temporar (în engleză, "buffer"), apoi, după ce întregul input a fost codat simbolic şi stocat în buffer, urmează etapa recunoaşterii sale prin operarea asupra reprezentărilor simbolice. Acest lucru ar însemna că pentru a recunoaşte o melodie ar trebui să aşteptăm sfârşitul său, ceea ce contravine trăirilor noastre. În schimb, în opinia autorului, modelele dinamice prezintă tipul de simultaneitate în desfăşurarea proceselor pe care astfel de trăiri le sugerează. Câteva dintre posibilele soluţii la care ar putea apela un susţinător al modelelor simbolice pentru a răspunde provocării datelor furnizate de astfel de trăiri ar fi negarea sau reinterpretarea lor (de exemplu, prin sugestia că ele sunt doar o aparenţă, care s-ar datora rescrierii istoriei temporale a trăirilor noastre după ce melodia s-a sfârşit şi a fost înţeleasă). Van Gelder (2000) le

respinge ca fiind adaptări ad-hoc, forțate, ale unor astfel de modele. O altă soluție posibilă pe care o întrevede ca putând fi invocată pentru a salva modelele simbolice ar fi aceea că cele două etape de prelucrare amintite mai sus nu sunt esențiale pentru astfel de modele computaționaliste, existând alternativa unei arhitecturi de prelucrare în paralel a informației, recunoașterea paternurilor începând încă de la inițierea stimulării. Dar o asemenea rezolvare i se pare inacceptabilă din două motive. Primul ar fi acela că acest lucru ar însemna o îndepărtare majoră față de modelul computaționalist standard și, astfel, nu l-ar salva pe acesta. În al doilea rând, ar fi o cale ineficientă și forțată, ca un "accesoriu costisitor", de a simula coevoluția simultană, pe când un model dinamic face acest lucru în mod firesc, fiind una din trăsăturile sale standard.

Totuși, datele introspecției nu par să susțină univoc nici una din abordările propuse (nici pe cea simbolică, nici pe cea dinamică). Dovadă în acest sens este și faptul că unii autori, cum ar fi, de exemplu, Spivey și Dale (2006), recunosc că observarea propriei gândiri poate releva senzația că există concepte discrete ca atare, care pot fi considerate ca independente, urmate de alte concepte discrete distincte, având conținuturi mintale care nu se suprapun. Astfel de date fenomenologice ar fi similare perspectivei existenței unui șir de simboluri logice. Dar această senzație are șanse să fie înșelătoare, după cum remarcă aceeași autori citați, pentru că ea s-ar putea datora tendinței oamenilor de a folosi rezultatele discrete ale acțiunilor lor continue. Printr-o analiză mai amănunțită, mai ales folosind mijloace mai avansate de monitorizare a fluxului gândirii sau a activității psihice în general, cum ar fi înregistrarea mișcărilor oculare sau a mișcărilor mouse-ului unui calculator (în locul măsurătorilor mai brute cum ar fi timpii de răspuns sau reacție) ar fi posibil, după părerea lor, să se evidențieze faptul că există activitate psihică (stări mintale intermediare) între "gândurile" discrete.

Obstacole care stau sau au stat în calea dezvoltării unei abordări dinamice în psihologie

Bertenthal (2007), încercând să răspundă la întrebarea de ce TSDN nu a fost încorporată mai demult în studiul fenomenelor psihice care, în mod evident, au o desfășurare în timp (cum ar fi gândirea, memoria, învățarea etc.), în vreme ce TSDN are un lung trecut în fizică, invocă câteva posibile obstacole care au stat în calea unei astfel de evoluții. Cheia problemei ar consta, în concepția sa, în aceea că TSDN este o teorie matematică și, prin urmare, multe din conceptele și tehnicile sale

analitice sunt în mare parte inaccesibile majorității psihologilor. Aceeași părere este împărtășită și de alți autori, printre care se numără și Kelso (2003), care apreciază că instrumentele conceptuale matematice ale TSDN sunt dificil de învățat datorită nivelului lor de sofisticare. Un obstacol în plus pe care îl remarcă este acela că dimensiunea temporală a fenomenelor psihice este adesea mascată de scala temporală la care un comportament este studiat și de faptul că se ignoră relațiile ierarhice dintre procesele de la diferite scale temporale. Alte obstacole pe care le evidențiază ar fi concentrarea exclusivă a atenției pe rezultatul unui proces și nu pe procesul ca atare și caracterul exclusiv liniar al tehnicilor statistice folosite. Kelso (2003) evidențiază și faptul că implementarea modelelor dinamice în sisteme reale este în prezent dificilă, solicitând o schimbare de paradigmă în experimentare și observare. Un obstacol suplimentar l-ar constitui și prezentarea abordării dinamice (în speță a dinamicii coordonării) ca opunându-se abordărilor teoretice convenționale din științele cognitive, și nu ca pe un sprijin suplimentar pentru înțelegere (Kelso, 2003). După cum arată autorul mai sus citat, în psihologia cognitivă tradițională accentul s-a pus pe procesele psihice individuale (intenția, percepția, atenția, memoria etc.), despre care s-a presupus că sunt izolabile, dar într-o abordare din perspectiva dinamicii coordonării, a intenționa, a percepe, a fi atent, a decide, a evoca sunt socotite a fi rezultatul autoorganizării spontane, ca efecte emergente ale unei dinamici coordinative.

Limitările actuale ale abordărilor dinamice existente nu ar putea fi soluționate, în opinia lui Mitchell (1998), dacă nu se depășește cadrul dinamicii. Prima limitare ar fi aceea a scalării, care se referă în mod particular la dificultatea de a realiza modele dinamice cantitative pentru sisteme care au o dimensionalitate ridicată. Cea de a doua limitare, care ar ține de stilul de explicare, ar fi aceea că, în concepția autorului citat, nu ar exista căi prin care abordările dinamice să fie extinse pentru a explica fenomene cognitive de nivel superior. Motivul pe care îl invocă ar fi acela că principiile dinamice nu ar fi capabile să explice sau să distingă, prin ele însele, acele aspecte ale comportamentului care sunt funcționale sau adaptative. După părerea sa, pentru a reuși un astfel de lucru, cadrul dinamic ar trebui completat, astfel încât el să includă componente care să se refere la funcționalitate, la transportul și prelucrarea informației. După cum se va vedea în următoarele secțiuni, există însă și autori care nu sunt de acord cu o astfel de limitare, fiind de părere că funcționalitatea sistemelor cognitive este o consecință directă a statutului lor de sisteme complexe disipative (Tschacher et al., 2003).

Argumente care ţin de avantajele explicative ale unei abordări dinamice

Astfel de argumente vor fi grupate în câteva categorii relative majore. O primă grupare le conţine pe cele care evidenţiază avantajul TSDN de a avea virtuţi integratoare din mai multe puncte de vedere: includerea în modelele dinamice a unor procese de la alte niveluri de organizare, terminologie şi modele comune cu teoriile din alte domenii ale ştiinţei (mai mult sau mai puţin conexe), explicarea unor proprietăţi diverse ale proceselor cognitive superioare (uneori chiar contradictorii, cum ar fi continuitatea–discontinuitatea, stabilitatea-flexibilitatea) prin intermediul aceloraşi principii teoretice, oferind posibilitatea găsirii unor punţi de legătură cu teoriile competitoare (în vederea unei unificări în cadrul psihologiei cognitive). O altă categorie este aceea a argumentelor care prezintă avantajul TSDN în explicarea unor fenomene cognitive în raport cu teoriile alternative sau cu cele care evidenţiază cazurile în care TSDN este singura teorie capabilă să explice un anumit fenomen. Ultima mare grupare se referă la schimbarea perspectivelor asupra cauzalităţii, ceea ce implică şi o schimbare de optică asupra principiilor explicative, mai ales asupra celor care se bazează pe noţiunea de predictibilitate.

În ceea ce priveşte avantajul unei explicaţii integratoare, Smith şi Thelen (1993) apreciază că o abordare de tip dinamic a proceselor psihice poate da seama printr-un singur proces, şi anume prin comportamentul unui sistem dinamic, de "ordinea globală a comportamentului, direcţionalitatea dezvoltării şi variabilitatea comportamentului în timp real". Pronovost (2006) susţine că, dat fiind că procesele nervoase, comportamentele şi mediul fizic şi chimic sunt deja modelate prin intermediul TSDN, atunci ar putea fi obligatoriu ca şi cogniţia să fie modelată în a aceşti termeni. Motivul ar fi acela că ar exista avantajul obţinerii unei continuităţi explicative cu teoriile elaborate pentru a modela comportamentul şi contextul extern de care procesele cognitive interne sunt strâns legate (mai ales pentru că o abordare dinamică are ca obiectiv central interacţiunea dintre procesele cognitive, cele corporale şi diferitele contexte sau medii în care organismul este scufundat). S-ar promova, în acest fel, şi interdisciplinaritatea în explicarea fenomenelor cognitive, evitându-se problemele care se nasc din studiul autonom al cogniţiei, aşa cum a fost el realizat în computaţionalismul clasic. Astfel, îşi continuă Pronovost (2006) argumentaţia, vocabularul TSDN ar putea servi ca o punte între descrierile schimbărilor care apar la nivelul comportamentului

manifest şi cele care apar în procesele informaţionale interne. În acelaşi sens, Weiskopf (2004) e de părere că un model dinamic, în comparaţie cu unul simbolic, ar avea avantajul că, prin faptul că prevede o influenţă reciprocă între diferitele niveluri de organizare, oferă o integrare mai firească a cogniţiei cu baza sa de la nivelul structurile neuronale. Un beneficiu înrudit ar fi acela, întâlnit şi la alţi autori, că un model dinamic al proceselor cognitive se poate integra mai uşor conceptual cu modelele dinamice din ştiinţele care studiază sistemele care oferă suportul fizic şi cu care sistemul cognitiv interacţionează. Smith şi Thelen (1993) evidenţiază şi ei că o abordare dinamică e compatibilă cu descrierile dinamice ale corpului şi mediului şi permite, în mod firesc, înţelegerea relaţiilor între diferite niveluri de organizare, a emergenţei structurilor macroscopice din comportamentul componentelor la nivel microscopic. Un model dinamic, faţă de unul simbolic, ar oferi şi posibilitatea de a integra dinamici la diferite scale temporale, care se determină reciproc: dinamica rapidă a variabilelor dinamice, la o scală temporală redusă, şi dinamica lentă a parametrilor de control.

Capacitatea unei abordări dinamice de a permite unificarea studiului cogniţiei nu doar cu alte domenii ale ştiinţei, ci şi unificarea în interiorul său, prin integrarea mai multor abordări şi rezultate experimentale disparate este susţinută de Abraham (1996), de Vallacher şi Nowak (1994a) şi Nowak, Vallacher şi Lewenstein (1994). După cum subliniază aceştia din urmă, TSDN a devenit, în ultimul timp, o "metateorie dominantă în ştiinţele naturale", care ar putea furniza o coerenţa conceptuală şi în domeniul psihologiei prin cadrul unei noi paradigme în care teoriile existente să fie înţelese şi noi teorii să fie generate.

Smith şi Thelen (1993) observă că un dezavantaj al modelelor simbolice este acela că ele modelează doar procese discrete, în timp ce modele dinamice ar fi capabile să modeleze, simultan, deopotrivă procesele discrete (prin conceptul de bifurcaţie) şi pe cele continue. Introducerea principiilor dinamice de explicare a comportamentului ar permite, în viziunea lui Spencer şi Schöner (2003) să se explice cum un comportament poate fi deopotrivă stabil şi flexibil. Ei arată că interacţiunea dinamică a mai multor niveluri de control redundant face ca un comportament să devină stabil prin prezenţa mai multor surse de constrângere. Însă, în acelaşi timp, aceeaşi redundanţă generează şi flexibilitatea unui sistem dinamic: datorită multideterminării există multiple căi prin care paternurile comportamentale pot fi destabilizate şi

reorganizate, ceea ce face să nu fie nevoie de o unitate executivă centrală. Pronovost (2006) evidențiază și el abilitatea TSDN de a furniza instrumente formale pentru a modela, în funcție de ceea ce se potrivește cel mai bine unui fenomen observat, deopotrivă procesele continue, ca și pe cele discrete care se desfășoară în timp (comparativ cu modelele computaționaliste de tip clasic, care sunt axate doar pe modelarea proceselor discrete). Posibilitatea pe care o oferă modelele dinamice de a permite explicarea simultană, prin apelul la același principii, atât a schimbării cantitative, cât și a celei calitative, este remarcată, printre alții, de Saulnier (2003).

Pronovost (2006) sesizează capacitatea TSDN de a formaliza simultaneitatea și interactivitatea care sunt ubicue la toate nivelurile proceselor cognitive. Tot el arată că ea dispune și de instrumentele conceptuale și formale pentru a furniza o cale euristică de a studia morfogeneza structurilor psihice complexe prin autoorganizare și emergență (fără vreun plan sau un agent independent care să le elaboreze), de vreme ce ele presupun modelarea structurilor spațiale și temporale și reușesc să facă acest lucru în alte științe cum sunt fizica, chimia sau biologia. Pe o linie înrudită de argumentare, Weiskopf (2004) observă că, în cadrul unui model computaționalist simbolic, comportamentul sistemului cognitiv se poate modifica prin schimbări ale arhitecturii funcționale și la nivel implementațional (cum ar fi leziunile neurologice). Dar o astfel de modificare a comportamentului nu se obține într-un mod predictibil și nu reprezintă un mod obișnuit de operare (Weiskopf, 2004). În mod comparativ, un model dinamic, prin conceptul de parametru de control, permite o astfel de schimbare funcțională a sistemului cognitiv în mod frecvent, natural, predictibil și adaptativ pentru sistem. Printr-o simplă modificare a valorii unui parametru de control este posibil să se obțină schimbări globale ale unor paternuri complexe de comportament, ceea ce ar sugera, potrivit lui Weiskopf (2004), că structurile interne simbolice complexe nu ar fi necesare. Un alt avantaj al modelelor dinamice ar fi acela că, dat fiind că e de presupus că există un număr infinit de stări mintale continue, acestea nu pot fi modelate complet folosindu-se modele computaționale discrete. Prin urmare, modelele dinamice ar fi capabile de predicții la un nivel de detaliu mai mare decât cele discrete, pentru că descriu mai multe stări decât acestea (Weiskopf, 2004). O opinie similară este formulată de Smith și Thelen (1993), care susțin că un model dinamic e capabil să specifice nu doar secvența câtorva stări prin care

poate trece un sistem cognitiv (ca modelele simbolice, care nu specifică nici raporturile în timp între stări, pe care doar le ordonează, fiind în mod esențial atemporale), ci întreaga sa traiectorie în timp, presupunându-se că pentru fiecare moment de timp există o stare cognitivă. În acest fel, un model dinamic poate aborda o serie de chestiuni care modelelor simbolice le sunt greu accesibile și care sunt legate de viteza, durata, perioada sau gradul de sincronizare cu care se desfășoară procesele cognitive. Cogniția încorporată este o problemă care pune în dezavantaj modelele simbolice din două motive: termenii în care sunt descrise mediul fizic și cel corporal diferă de cei ai computaționalismului simbolic. În al doilea rând, corpul și mediul fizic se schimbă permanent în timp, în vreme ce modelele simbolice sunt atemporale. După părerea lui Smith și Thelen (1993), computaționalismul simbolic rezolvă această problemă într-un mod forțat, care nu are plauzibilitate biologică (de exemplu, prin adăugarea unor dispozitive independente, cu rol de ceas).

Poziția lui Mitchell (1998) reiterează câteva din opiniile exprimate mai sus. El apreciază că modelele dinamice pot fi în mod firesc atractive pentru cercetătorii care studiază fenomenele cognitive pentru că oferă următoarele avantaje: furnizează căi de a înțelege și descrie schimbarea continuă a sistemelor, dispun de instrumentele conceptuale pentru a caracteriza stabilitatea relativă a paternurilor posibile de schimbare în funcție de anumiți parametri ai sistemului și pentru a aborda cuplarea dintre creier, corp și mediu. Van Geert (1994) sesizează un alt avantaj al unei abordări dinamice, acela de a furnizează o varietate de formate reprezentaționale diferite și modalități foarte flexibile de a le utiliza. De exemplu, astfel de noi formate ar fi capabile să sugereze căi de explorare a aspectelor fenomenologice ale comportamentelor și efectelor evidențiate de gestaltiști, care nu și-au găsit încă o explicație adecvată în computaționalismul simbolic (Tuller et al., 1994).

O interpretare dinamică a sistemelor cognitive ar oferi și avantajul că permite o explicație alternativă (mai realistă) celei nativiste (care doar mută nivelul problemei) pentru a justifica modul în care este posibilă dezvoltarea, în ciuda unei "sărăcii a stimulării" în perioada copilăriei față de cea de care ar fi fost nevoie (van Geert și Steenbeek, 2008). Dacă dezvoltarea cognitivă este văzută a se datora, în primul rând, autoorganizării unui sistem dinamic complex, atunci e posibil ca transmiterea informației (cum e și cazul predării) să conducă la elaborarea de structuri informaționale la nivelul sistemului cognitiv care sunt "mai complexe și

mai complete" decât transmiterea informației însăși (adică efectul învățării poate fi mai mare decât conținutul predării), după cum este remarcat de van Geert și Steenbeek (2008).

Butterworth (1993) e de părere că abordarea dinamică ar avea avantajul că principiile sale explicative integrează cele patru tipuri de cauze aristoteliene: materiale, formale, eficiente și finale, evitând să presupună că rezultatul dezvoltării cognitive este preordonat. Instrumentele conceptuale ale TSDN oferă, în opinia lui Nowak et al. (1994), și posibilitatea de a aborda mai bine cauzalitatea bidirecțională, circulară, care apare în cadrul fenomenelor psihice, decât cele ale altor tipuri de abordări. Aceste instrumente conceptuale au și avantajul că permit o reinterpretare a predictibilității, furnizând o cale de a înțelege cum, la nivel local, poate să existe impredictibilitate și, simultan, comportamentul global să fie predictibil. În concepția autorilor citați, chiar dacă predicțiile de la nivel global care sunt posibile prin aplicarea calitativă a modelelor dinamice sunt triviale, faptul că decurg în baza unor modele matematice are consecințe filosofice importante. În plus, ei evidențiază că, în concepția lor, modelele dinamice calitative nu numai că sunt acceptabile din punct de vedere explicativ, dar sunt și necesare în acele cazuri în care se studiază fenomene care sunt imposibil de modelat cantitativ. De asemenea, modelele dinamice sunt de preferat pentru a explica acele cazuri în care se observă comportamente sau fenomene psihice care nu au, în mod evident, o cauză externă (cum ar fi fenomenul momentului reprezentațional evidențiat de Freyd, 1983), prin apelul la dinamica intrinsecă a unui sistem studiat.

Haken (2003b) justifică necesitatea de a înțelege cogniția în baza studiului proceselor dinamice plecând de la ideea că, în principiu, orice proces poate fi modelat matematic, iar această modelare va permite formularea unor principii generale cu privire la modelarea altor procese, mai specifice. În particular, dacă se folosește o modelare caracteristică sinergeticii, prin care se identifică schimbările calitative la nivel macroscopic ale sistemelor complexe, analogiile remarcabile care apar, din acest punct de vedere, între sisteme foarte diferite, fac ca un sistem să devină o paradigmă pentru un altul, care este mai puțin accesibil.

Câteva critici aduse abordării dinamice și contraargumente pentru acestea

S-au ridicat câteva obiecții față de abordarea dinamică în forma propusă de van Gelder (1998), după cum urmează. a) Orice sistem este

dinamic sau, în formularea prezentată de Saulnier (2003), ipoteza dinamică este un adevăr banal, pentru că, de vreme ce orice lucru este un sistem dinamic, atunci este de la sine înțeles că și sistemul cognitiv este, la un anumit nivel, un sistem dinamic. b) Calculatoarele digitale sunt și ele sisteme dinamice, pentru că sunt determinate de stare și sunt guvernate de reguli de tranziție. c) Abordarea dinamică se află într-un conflict inerent cu computaționalismul. d) Nu există nici un motiv pentru care să se creadă că orice proces cognitiv nu este efectiv calculabil. e) Modelele dinamice pot oferi doar descripții, dar nu și explicații. f) Abordarea dinamică nu explică cogniția în termenii trăsăturilor sale distinctive, de vreme ce dinamica se aplica oricărui comportament, indiferent dacă este cognitiv sau nu. g) Descrierile oferite de modelele dinamice sunt potrivite doar pentru nivelele inferioare ale cogniției. h) Pentru a explica cogniția de nivel superior e nevoie ca sistemele dinamice să implementeze procese computaționale simbolice. i) Abordarea dinamică nu se deosebește de cibernetică. Pentru fiecare se vor prezenta, pe rând, contraargumentele formulate de van Gelder (1998).

a) Ipoteza dinamică în ceea ce privește cogniția a lui van Gelder (1998) se referă la un tip specific de sistem dinamic: continuu, cu variabile cantitative. În plus, ea presupune nu doar că sistemul cognitiv e implementat într-un sistem fizic care e dinamic, ci că orice proces cognitiv este, în sine, un fenomen dinamic propriu-zis. Răspunsul dat de Saulnier (2003) acestei obiecții este acela că ceea ce propune ipoteza dinamică este că nivelul la care sistemul cognitiv este presupus a instanția un sistem dinamic este de cel mai înalt rang și nu este cel implementațional, inferior, cum ar fi poate dispus să admită computaționalismul simbolic. În plus, din punct de vedere epistemologic, nu este un adevăr necontestat, banal, că proprietățile de sistem dinamic ale sistemului cognitiv au importanță pentru funcționalitatea sa ca sistem cognitiv.

b) Și în acest caz este valabil primul contraargument de mai sus. Deși și calculatoarele digitale sunt sisteme dinamice în sens general, ele sunt de un alt tip decât cele considerate a reprezenta fenomenele cognitive. Una din diferențele cele mai importante este aceea că, în cazul unei mașini Turing, implicit al calculatoarelor digitale, nu există o relație sistematică între comportamentul său ca sistem și distanțele dintre stările din spațiul stare prin care trece, chiar și atunci când ele se pot defini. În plus, variabila timp este una discretă, reprezentând indexarea unei mulțimi ordonate. Ceea ce contează sunt valorile variabilelor și nu rata lor de

schimbare. Şi în situaţia în care calculatoarele sunt privite ca sisteme dinamice cantitative, continue (fie pentru că anumite metrici se pot aplica oricărui set de valori, considerând orice variabilă o cantitate, sau pentru că sunt văzute sub aspectul lor fizic), totuşi, astfel de distanţe măsurate prin metrici comune nu vor avea nici o relaţie sistematică cu comportamentul lor.

c) Sistemele dinamice pot realiza computaţii, dar de un alt tip decât cea simbolică, realizată printr-o maşină Turing. Procesele dinamice sunt interpretabile ca funcţii computaţionale câtă vreme este posibil să se specifice inputurile şi outputurile. S-au construit deja reţele neuronale recurente care au atractori haotici, capabile să înveţe secvenţe şi gramatici simple (Uhr şi Honavar, 1994). Mai mult, Siegelmann (1994, în van Gelder, 1998) a demonstrat că unele sistemele dinamice ale unor reţele neuronale de tip recursiv calculează o clasă mai largă de funcţii decât maşina Turing. De asemenea, după cum sugerează Dreyfus (1992, în van Gelder, 1998), creierul este în stare să realizeze o computaţie de tip analog şi nu digital.

d) Faptul că un sistem e computabil (calculabil) nu înseamnă că el este computaţional (de exemplu, sistemul solar este computabil, dar acest lucru nu înseamnă că el este un calculator digital), ci doar că funcţiile care îi guvernează comportamentul pot fi calculate (cu precizie sau cu un nivel satisfăcător de aproximaţie) cu ajutorul unui calculator digital. Prin urmare, la fel, dacă unele procese cognitive s-au dovedit a fi computabile, nu înseamnă că ele sunt computaţionale.

e) În cadrul unei abordări dinamice, tipul de explicaţie diferă, fiind dată prin specificarea unui model abstract, definit prin ecuaţii diferenţiale, dar acest lucru nu înseamnă că o astfel de abordare nu furnizează explicaţii.

f) Ipoteza dinamică presupune că sistemele cognitive sunt sisteme dinamice de un tip special, existând necesitatea de a adapta TSDN pentru a explica performanţele cognitive în ceea ce ele au caracteristic.

g) Pentru că TSDN nu e legată în mod specific de nici o scală spaţio-temporală sau de un anumit nivel de organizare (în restul ştiinţelor a fost folosită în studiul unor fenomene la scale spaţio-temporale diferite), aplicându-se atunci când există variabile cantitative care interacţionează reciproc, nu există vreun motiv pentru care nu ar fi aplicabilă şi proceselor cognitive superioare dacă acesta e cazul. Chemero (2001) răspunde acestei obiecţii evidenţiind că, în prezent, nu există argumente teoretice decisive şi nici dovezi empirice împotriva unei paradigme dinamice a

cogniției. După părerea sa, nivelul cogniției până la care această paradigmă va fi capabilă să ofere explicații este o problemă exclusiv empirică și doar timpul va spune dacă ipoteza dinamică este utilă sau nu. Este necesar însă să se acorde modelărilor dinamice răgazul necesar pentru a eșua pe cont propriu, fără a fi excluse din start, în virtutea unor prejudecăți.

h) S-au obținut câteva dovezi că sistemele dinamice pot încorpora structuri combinatoriale, fără ca acestea să fie structuri simbolice. De exemplu, Pollack (1990, în van Gelder, 1998) a demonstrat că există posibilitatea de a aplica un număr arbitrar de mare de tipuri de structuri asupra stărilor unor sisteme dinamice, astfel încât astfel de stări să ajungă să realizeze prelucrări sistematice. Noelle și Cottrell (1996, în van Gelder, 1998) au evidențiat structuri combinatoriale în bazinele atractorilor unor sisteme dinamice sau în traiectoriile rezultate ca urmare a unor serii de bifurcații (prin "înlănțuirea de atractori").

i) Ipoteza dinamică se referă la cogniție în mod specific și nu la sisteme în general, cum e cazul cibernetici. În plus, folosește alte instrumente conceptuale și de analiză decât cele folosite de cibernetică.

În cele ce urmează se va realiza o trecere în revistă a celor mai importante și mai cunoscute contribuții actuale privitoare la aplicarea conceptelor dinamicii neliniare și a teoriilor conexe în studiul proceselor cognitive superioare. Pentru că o interpretare din punct de vedere dinamic a unui proces cognitiv superior este strâns legată de o interpretare dinamică a întregului sistem cognitiv, s-a inclus, în primul rând, o secțiune în care sunt prezentate câteva variante de modelare dinamică generală a fenomenelor cognitive sau modele dinamice în care mai multe procese cognitive superioare sunt prezentate în mod integrat. Apoi au fost dedicate secțiuni speciale proceselor memoriei și reprezentărilor mintale, gândirii (categorizare și reprezentări conceptuale, raționament, rezolvare de probleme, decizie) și limbajului, în care au fost incluse contribuțiile mai țintite. Pentru că atenția și conștiința sunt fenomene importante pentru procesele cognitive de nivel ridicat, au fost incluse și ele în lucrare. Se impune observația că separarea dintre procese cognitive inferioare și superioare este una relativă, iar distincțiile făcute între diferitele tipuri ale acestora din urmă au un caracter mai degrabă artificial pentru că, de fapt, multe din rezultatele cercetărilor menționate au implicații care se referă la toate procesele cognitive în general. Aceste distincții contravin chiar abordării lor dinamice, care presupune o viziune integrată, în cadrul căreia

procesele cognitive pot fi cu greu distinse. Totuşi, ele au fost introduse pentru a facilita sistematizare datelor existente în literatura de specialitate.

Am putea clasifica în trei categorii genul de contribuţii care vor fi prezentate. Unele se limitează la speculaţii mai degrabă teoretice, elaborând modele cantitative sau, în cele mai multe cazuri, calitative, altele propun noi design-uri experimentale specifice pentru a studia dinamica unor procese cognitive, iar altele provin din domeniul inteligenţei artificiale, mai cu seamă cele de tip conexionist şi cele care adoptă paradigma cogniţiei încorporate în construirea roboţilor.

Interpretarea dinamică a sistemului cognitiv

Ca şi consideraţie introductivă, e potrivită constatarea generală a lui Vallacher şi Nowak (1994b) că psihologii au preferat să studieze aspectul static al gândurilor, adică proprietatea lor de a putea dispune de o anumită stabilitate, constanţă, în detrimentul naturii lor dinamice, adică a tendinţei de a se schimba pe diferite scale de timp. Acest lucru i-a condus, în concepţia celor doi autori citaţi, la un model al sistemului cognitiv în care structurile cognitive pot fi comparate cu nişte blocuri de piatră într-o construcţie piramidală, schimbarea acestora fiind explicabilă doar prin influenţe externe (sub forma informaţiei sau a presiunilor sociale), prin zgomotul din sistem sau prin imprecizia măsurării. Unui astfel de model, Vallacher şi Nowak (1994b) îi opun unul în care se vorbeşte de un flux al gândirii, de gânduri care au o dinamică proprie, o "viaţă proprie", ele schimbându-se după paternuri semnificative, chiar şi în absenţa unor influenţe externe. Ei susţin teza foarte generală că *sistemul cognitiv este un sistem dinamic complex*. Într-o astfel de viziune, observaţia lor este că pentru a descrie procesele cognitive nu e nevoie să se invoce metafora sistemelor artificiale de calcul, pentru că orice sistem dinamic natural dinamic ar putea fi considerat o metaforă pentru acestea.

În plus faţă de teza generală prezentată mai sus, există autori care adaugă specificarea că sistemul cognitiv este un *sistem dinamic complex care se poate afla în stări în care devine capabil de autoorganizare*. Printre ei se numără Portugali (2002), care susţine că sistemul cognitiv este format dintr-o reţea de reprezentări interne şi externe (depăşindu-se astfel graniţele creierului), care se comportă ca un sistem dinamic complex ce poate fi înţeles folosind conceptele sinergeticii, adică ale teoriei sistemelor dinamice deschise care se autoorganizează, aplicabilă fenome-

nelor de cooperare. Plecând de la această idee principală, Portugali şi Haken (Portugali, 2002) au elaborat un model cognitiv numit al "reţelelor sinergice de interreprezentare". Conform acestuia, fluxul intern şi cel extern de informaţie participă la formarea unui sistem dinamic complex care, autoorganizându-se, permite descrierea sa prin parametrii de ordine care emerg. Aceştia guvernează, pe de o parte, acţiunile agentului, iar pe de alta, feedback-ul informaţional intern, adică formarea de noi reprezentări interne.

O parte dintre adepţii considerării sistemului cognitiv ca un sistem dinamic complex care se autoorganizează susţin şi faptul că el este un *sistem care apare exclusiv prin emergenţă*, din interacţiunea sistemelor dinamice psihice aflate pe nivele inferioare de organizare, între ele, şi cu mediul. Astfel, Thelen (1995), făcând o analogie cu modul de apariţie a paternurilor motorii, apreciază că cogniţia emerge din aceleaşi procese care guvernează ciclurile timpurii ale percepţiei şi acţiunii. Comportamentul cognitiv complex, superior, cum ar fi categorizarea, reprezentarea conceptuală, limbajul ar apărea în aceeaşi manieră autoorganizată, pe baza unor activităţi care se desfăşoară recurent, în timp real. Gândirea s-ar dezvolta, astfel, din activitatea contextuală, dependentă de timp, a organismului, ceea ce este, după cum se poate constata, o teză similară cu aceea susţinută de psihologii şcolii acţiunii. Emergenţa sa din interacţiunea reciprocă a sistemelor dinamice senzoriale şi a celor motorii şi a acestora cu mediul implică faptul că sistemul cognitiv trebuie să fie în mod necesar *încorporat*, adică integrat într-un sistem care să-i asigure interacţiunea în timp real cu mediul din care face parte. Eliasmith (1996), un susţinător al abordării dinamice a cogniţiei, subliniază această idee când afirmă că sistemele cognitive sunt încorporate şi evoluează în timp. Pe de altă parte, fiind emergent, sistemul cognitiv nu mai poate fi localizat exclusiv la nivelul creierului, aşa cum remarca şi Portugali (2002), ci reprezintă un o suprastructură generată dinamic la interfaţa dintre mai multe sisteme interne şi externe organismului.

Există însă şi autori care aderă la teza sistemului cognitiv ca sistem complex care se autoorganizează, dar care nu cred că acesta se dezvoltă exclusiv prin emergenţă din dinamica sistemelor senzorial-motorii în interacţiunea lor cu mediul. Un exemplu ar fi cel al lui van Geert (1994), care explică dezvoltarea cognitivă ca emergentă interacţiunii unor sisteme dinamice specifice (cum ar fi atenţia, memoria, limbajul), pe care le numeşte "specii cognitive", pentru a face o paralelă cu teoriile evoluţioniste şi pentru a sublinia faptul că, deşi sunt independente, pentru că

interacționează, nu pot fi echivalate cu modulele lui Fodor (1983, în Smith și Thelen, 1993).

Tschacher și Dauwalder (2003) au încercat să identifice ideile de bază ale abordării dinamice (a sistemelor dinamice) a cogniției (numită și dinamică cognitivă), cel mai frecvent susținute în studiile actuale. Scopul general ar fi acela al explicării funcționării "inteligente" a cogniției prin observarea proceselor care generează și susțin o astfel de funcționare. Liniile directoare ale acestei explicații ar fi următoarele:

1) Așa numita cogniție funcțională ('intențională', 'orientată de un scop') nu poate fi un singur atribut unic, elementar, cu o localizare specifică în creier sau sub forma unui modul computațional special. Ea ar fi, în schimb, o *sinergie*, adică o conlucrare a unor procese multiple mai simple, *nelocalizabilă*;

2) Mintea nu poate fi înțeleasă prin raportarea exclusivă la minte, ignorând creierul și corpul, pledându-se, de aceea, pentru adoptarea ideii de *cogniție încorporată* (în engleză, "embodied cognition");

3) Cogniția este *situată*, ceea ce ar însemna că mintea este scufundată în constrângeri de mediu și este condusă de gradienți energetici și de potențialitățile funcționale (în engleză, "affordances") ale mediului;

4) *Interactivismul* este o componentă esențială pentru înțelegerea cogniției. El se întemeiază pe cauzalitatea circulară pe care sinergetica o conceptualizează a fi la baza sistemelor care se autoorganizează. Corelativ cogniției încorporate, există și un "corp cognitiv". Analog, la fel cum mintea e situată, abordarea dinamică include, de asemenea, efectul complementar al minții asupra potențialităților funcționale (în engleză, "affordances") ale mediului. Pentru astfel de reciprocități, sintagma care s-a impus este aceea de "*cogniție enactivă*";

5) Presupunerea, nu foarte clar explicitată, că dinamica autoorganizată ar fi capabilă să ajute la *explicarea intenționalității*.

Raportând ipoteza dinamică din psihologia cognitivă la teoriile alternative: computaționalismul simbolic și conexionismul, French și Thomas (2001) observă două dintre trăsăturile care o disting cel mai mult de acestea. Comparativ cu computaționalismul simbolic, o abordare dinamică s-ar interesa, în primul rând, de fenomenele cognitive ca procese temporale. Ea încearcă să explice modul în care fenomenele cognitive care apar la o anumită scală temporală derivă din fenomene care se desfășoară la scale temporale inferioare. Compuaționalismul simbolic nu susține însă nici că aspectul temporal ar fi esențial pentru înțelegerea

cogniției și nici că ar fi necesară o explicație pentru aceasta prin referirea la procese care au loc la niveluri de organizare inferioare, prin care procesele cognitive pot fi implementate.

Dezbătând, comparativ, poziția TSDN față de cea a computaționalismului în ceea ce privește timpul, Weiskopf (2004) remarcă faptul că în centrul disputei nu se află chestiunea continuității timpului, după cum s-ar părea la prima vedere, dacă se ține cont de teza generală a ipotezei dinamice, în formularea lui van Gelder (1998), că pentru fiecare moment de timp există o stare a sistemului cognitiv. Motivul ar fi acela că și susținătorii ipotezei sistemelor simbolice ar putea să fie de acord că există o continuitate a stărilor sistemului cognitiv, fiind posibil ca acestea să persiste pentru o durată de timp mai îndelungată, astfel încât să nu apară intervale fără nici o stare cognitivă între ele. Prin urmare, după cum subliniază Weiskopf (2004), angajamentul abordării dinamice este unul mult mai specific. El este acela că, în fiecare moment de timp, sistemul cognitiv se află într-o stare distinctă ca tip față de cea precedentă și, mai mult, că schimbarea stării sistemului cognitiv, la orice scală temporală, contează ca schimbare cognitivă, adică este relevantă pentru funcționarea cognitivă. În opinia acestui autor, o astfel de afirmație este, însă, una disputabilă, neaflând argumente care să o justifice. Cel mult, s-ar putea spune că există argumente (care țin mai mult de datele neuropsihologice) că stările mintale ocupă un continuum, dar nu este justificat să se presupună, pur și simplu, că acest lucru este adevărat. De aceea, el ia în considerare o a doua interpretare posibilă a ipotezei că procesele cognitive sunt procese care se desfășoară întotdeauna în timp, mai puțin controversată. Conform acesteia, durata rămânerii sistemului cognitiv într-o anumită stare, rapiditatea cu care au loc tranzițiile între stări și cât de repede interacționează cu alte sisteme sunt parametri care contează pentru performanța globală a sistemului. Prin acest lucru ar fi diferită abordarea dinamică față de cea care are la bază modelul standard al mașinii Turing, în care timpul nu înseamnă decât o ordine în care sistemul trece de la o stare la alta, neavând sens să se discute despre durata stărilor și despre stări intermediare aflate între două stări discrete succesive. Chiar dacă modelele cognitive de tip clasic computaționalist includ timpul, el este socotit a fi doar un parametru liber, care este fixat în funcție de date, ad-hoc, neavând un rol esențial, fiind o completare suplimentară, care ține strict de implementarea unui model.

Saulnier (2003) include în abordarea dinamică două curente importante: conexionismul (ca studiu al rețelelor formale) și "abordarea prin sisteme dinamice", în care formalismul matematic al TSDN este utilizat în mod direct. El remarcă faptul că cele două se suprapun parțial, existând și părți comune, dar și diferențe: anumite modele dinamice nu sunt conexioniste, iar, pe de altă parte, anumite modele conexioniste sunt interpretate numai în termenii computaționalismului. Ceea ce au în comun, în principal, conexionismul și abordarea care se bazează direct pe TSDN este că ambele sunt emergentiste și ambele utilizează instrumentele matematice ale TSDN. După cum precizează Saulnier (2003), în comparație cu teoriile computaționalismului simbolic, care sunt "nativiste", pentru că nu explică modul în care apar reprezentările simbolice, teoriile abordării dinamice, indiferent de curentul din care fac parte, se preocupă de originea cogniției și chiar a reprezentărilor (de factură simbolică sau nu) în procesele de bază aflate la nivel subsimbolic, oferind o explicație emergentistă. În cadrul acestora, noțiunea de reprezentare, în măsura în care este păstrată, capătă un nou sens, mai adecvat noului context, ca fiind corespondența pe care o poate sesiza un observator extern între formele (configurațiile) interne (mai mult sau mai puțin stabile) și regularitățile din mediul extern (Saulnier, 2003). Însă, după cum arată Saulnier (2003), astfel de forme interne nu sunt transmise ca entități discrete de la un nivel la altul sau de la o locație la alta, explicându-se astfel de ce modelele emergentiste nu sunt de tip simbolic reprezentaționalist, chiar dacă păstrează noțiunea de reprezentare. Ceea ce separă însă conexionismul de abordările dinamice propriu-zise ar fi, în opinia lui Saulnier (2003), poziția față de învățare și încorporare. Abordările cu baza direct în TSDN nu oferă o explicație mai clar definită pentru învățare, adică pentru modul în care regularitățile identificate prin interacțiunea cu mediul sunt integrate pe termen lung la nivelul sistemului cognitiv. Pe de altă parte, conexionismul nu se interesează de încorporare, adică de rolul interacțiunii dintre corp și mediu în procesul cognitiv care este simulat printr-o rețea conexionistă. Diferențele mai detaliate dintre cele două abordări sunt sintetizate de autorul mai sus amintit într-un tabel (vezi Tabelul 1), prin citarea lui Smith și Samuelson (2003, în Saulnier, 2003).

În ceea ce privește comparația cu conexionismul, abordarea teoretică cu care ipoteza dinamică din psihologie ar fi strâns înrudită, French și Thomas (2001) remarcă faptul că deosebirea importantă dintre ele este doar una de accent.

Tabel 1. Comparație între conexionism și abordarea cu baza în TSDN (după Smith și Samuelson (2003, în Saulnier, 2003))

	Conexionism	Abordarea cu baza în TSDN
Elemente componente	Unități de prelucrare simple, omogene, interconectate într-o rețea	Elemente observabile (variabile) la mai multe niveluri de analiză și organizare (psihic, sistem nervos, corp, mediu) heterogene, care interacționează sau sunt cuplate dinamic, nu neapărat fizic
Obiectul de studiu	Modul de organizare și de activare a unităților elementare pentru a se produce procesele de învățare	Legea evoluției temporale
Natura cunoștințelor	Distribuite în ponderea conexiunilor formate pe termen lung (activate prin inputul imediat)	Date de starea sistemului în spațiul fazelor la un moment dat, outputul imediat. Cunoștințele sunt distribuite între diferite procese (cum ar fi percepția, acțiunea etc.), neexistând ceva echivalent unei cunoștințe latente care așteaptă să fie activată.
Natura evoluției	Învățarea regularităților statistice și internalizarea acestora în cadrul sistemului conexionist	Datorată unei cauzalități multiple și circulare, prin interacțiunea între mai multe niveluri de organizare

În vreme ce modelele conexioniste au pus în prim planul criticilor lor aduse ipotezei sistemelor simbolice fizice ideea de prelucrare serială a

informației, considerând necesară substituirea sa cu cea de prelucrare paralelă a informației, modelele dinamice se concentrează mai mult pe ideea de evoluție dinamică într-un spațiu al stărilor posibile.

Un alt demers, mult asemănător celui anterior, întreprins de Ibáñez (2007), încearcă să găsească, în mod particular, nucleul comun al teoriilor cognitive ale complexității (în care include conexionismul și TSDN), care să permită diferențierea lor în raport cu teoriile computaționalismului ortodox. El remarcă faptul că, până acum, a lipsit o evaluare sistematică a statutului acestor teorii, datorită faptului că fiecare dintre ele are programe de cercetare deosebite și folosește niveluri de analiză diferite. Autorul citat își propune să suplinească această deficiență. În primul rând, el identifică faptul că deopotrivă conexionismul și TSDN sunt emergentiste și că au în comun anumite principii matematice. Există între ele și suprapuneri, în sensul că multe modele conexioniste sunt și modele dinamice (de exemplu, vezi Elman, 1995) și multe modele dinamice au apelat la simulări conexioniste care au prezentat un comportament neliniar (de exemplu, Skarda și Freeman, 1987). Pe de altă parte, există însă și modele dinamice care nu sunt conexioniste și modele conexioniste care nu sunt dinamice. Ibáñez (2007) observă și el că cele două tipuri de modele au interese deosebite, concentrându-se pe aspecte diferite. În conexionism s-ar simți încă influența concepțiilor din computaționalismul clasic. Apoi, nivelul logic de analiză diferă în cele două cazuri. În modelele conexioniste, un grup de elemente omogene, care sunt entități teoretice matematice, neobservabile, simulează un "creier idealizat", concentrându-se mai ales pe simularea aspectelor care țin de microstructura cogniției. În schimb, în modelele dinamice, elementele pot fi eterogene, reprezentând variabile observabile de natură diferită (de exemplu activări neuronale, mișcări corporale, procese din mediu), țintindu-se și spre aspectele macrostructurale ale cogniției. Natura aplicațiilor care decurg din cele două tipuri de modele este diferită, de asemenea: rețelele conexioniste au fost folosite în principal pentru simularea proceselor învățării, iar cele dinamice pentru a descrie schimbarea traiectoriilor unui sistem. O altă deosebire importantă identificată de Ibáñez (2007) este aceea că există o reprezentare diferită a cunoștințelor în cele două tipuri de modele. În cele conexioniste, acestea sunt reprezentate la nivelul ponderilor conexiunilor din rețea și ar corespunde regularităților din istoria sistemului. În modelele dinamice însă, cunoștințele sunt distribuite la nivelul unor procese care sunt calitativ diferite: de exemplu, percepție, acțiune, trăsături ale stimulului. În final, o ultimă distincție identificată

între cele două tipuri de modele este aceea care se referă la modelele cauzale utilizate. În conexionism, există un singur model cauzal, care se bazează pe extragerea regularităţilor statistice din inputuri şi pe internalizarea lor. Comparativ, modelele dinamice fac apel la niveluri multiple de cauzare şi la noţiunile de interacţiune şi cauzalitate circulară.

Dincolo de diferenţele semnalate, Ibáñez (2007) evidenţiază convergenţa celor două tipuri de modele la un nivel metateoretic. Baza lor comună ar fi un "sistem dinamic topografic", adică un sistem dinamic cu o topologie spaţio-temporală, care serveşte ca metaforă a cogniţiei, la care se adaugă utilizarea instrumentelor de analiză ale TSDN, aplicarea explicaţiilor de tip emergentist şi derivarea unor legi matematice. Strategia explicativă ar fi aceea a stabilirii unor corespondenţe între proprietăţile sistemului dinamic matematic folosit pentru modelare şi cunoştinţele despre proprietăţile fenomenului cognitiv studiat.

Comparând modelele conexioniste cu cele dinamice, Arnellos, Spyrou şi Darzentas (2006) observă, foarte pe scurt, că primele prezintă multe din proprietăţile sistemelor dinamice complexe care se autoorganizează, dar ele nu renunţă la noţiunile de computaţie şi reprezentare. Pe de altă parte, susţinătorii unei abordări dinamice într-o variantă extremă cred că, deşi concepţiile lor seamă în ceea ce priveşte ideea de emergenţă prin activitate cu modelele conexioniste, nu sunt de acord cu necesitatea reprezentărilor "ca instrumente ale cogniţiei". În viziunea lor, aşa cum este redată de Arnellos et al. (2006), sistemele cognitive emergente se formează prin cooperarea globală a elementelor care le compun, autoorganizându-se, ajungând în stări atractoare prin care mediul este clasificat. Consecinţa ar fi aceea că, în acest fel, distincţiile generate nu sunt pur simbolice şi arbitrare, sensul nefiind în funcţie de anumite simboluri particulare şi nici localizabil fizic în vreo parte a sistemului. Urmarea firească este aceea că reprezentările simbolice sunt văzute ca inutile, iar productivitatea unui astfel de sistem cognitiv este apreciată ca fiind încorporată la nivelul structurii sistemului, avându-şi sursa în istoria sa particulară (în sensul că abilitatea de a genera discriminări depinde de complexitatea structurii atractoare în spaţiul dinamic corespunzător sistemului). Nu există structuri reprezentaţionale discrete care să fie transformate prin reguli algoritmice, acestea neputând explica oricum generarea unor noi structuri semantice. În schimb, sistemele dinamice capabile de autoorganizare par a fi mai potrivite pentru a da seama de emergenţa unor noi sensuri, capabilităţile de discriminare şi de clasificare ale unui sistem dinamic putând fi crescute prin cuplarea structurală cu mediul său

înconjurător, ceea ce oferă o cale de adaptare mereu deschisă. O astfel de concepție este strâns legată în cadrul inteligenței artificiale de teoria cibernetică de ordin secund (Heylighen și Joslyn, 2001), potrivit căreia reprezentările nu sunt concepute ca având utilitate funcțională, iar informația este ceva ce este doar atribuit unui proces de către un observator extern.

Pentru a caracteriza, pe scurt, abordarea dinamică în raport cu celelalte abordări teoretice majore ale cogniției (computaționalismul simbolic și conexionismul) sunt importante și observațiile lui Pronovost (2006). În viziunea acestuia, mai ales computaționalismul simbolic oferă o explicație de tip mecanicist, care presupune o descompunere (pe baza principiului că activitatea globală e rezultatul realizării independente a unor sarcini componente) și o localizare (întemeiată pe ideea că sarcinile componente sunt executate de entități care pot fi localizabile și identificabile, având funcții distincte). Metafora prelucrării informației ar fi importantă în lumina unei astfel de explicații pentru că sugerează că anumite componente ale sistemului cognitiv poartă informații despre procese care se desfășoară în alte componente, deducându-se că, astfel, se asigură legătura între aceste componente. Ceea ce ține să remarce autorul citat este faptul că, dincolo de modelele mecaniciste existente și de ceea ce pare a fi concepția generală, nu e obligatoriu ca, în general, o explicație mecanicistă să presupună că relația dintre componentele unui model trebuie să fie una liniară și nici ca acestea să implice procese seriale. În contrast cu acest tip de explicație, modelele dinamice ar avea o perspectivă mai holistă asupra sistemului și proceselor cognitive.

Citându-l pe Bechtel (1998), Pronovost (2006) evidențiază faptul că descrierea proceselor cognitive prin ecuații diferențiale sau diferență are ca scop formularea unor legi prin determinarea paternurilor care apar în timp din interdependența, relațiile, schimbării valorilor unor parametri specificați. Aceștia, însă, nu corespund unor componente ale sistemului cognitiv care ar interacționa cauzal, ci ar fi trăsături ale fenomenului investigat. Bechtel (1998, în Pronovost, 2006) apreciază că un astfel de demers ar fi complementar unuia mecanicist, acesta din urmă fiind util pentru a explica cum e posibil ca un sistem să poată instanția legile dinamice identificate, prin descompunerea comportamentului global în sarcini localizabile. Concluzia lui Pronovost (2006) este că ar fi legitim să vrem deopotrivă să cunoaștem regularitățile fenomenelor cognitive (printr-o abordare dinamică) și mecanismele de tip cauzal care stau la baza lor (printr-o abordare de tipul computaționalismului clasic). Problema

pe care o semnalează, însă, este aceea că, după părerea sa, cei care adoptă modele dinamice sunt sceptici în legătură cu posibilitatea explicațiilor cauzale, având mai degrabă o poziție apropiată de empirismul filosofic, care se limitează la stabilirea unor legi de tip corelațional.

Argumentul de mai sus al lui Pronovost (2006) este posibil să nu fie valabil, însă, în ceea ce privește acele modele dinamice care nu sunt axate pe formularea unor legi dinamice, ci urmăresc bifurcațiile (schimbările de regim dinamic) și procesele de autoorganizare în cadrul sistemelor complexe. Acestea încearcă să explice apariția unor paternuri prin căi cum ar fi emergența și relațiile circulare între procesele aflate pe diferite scale spațio-temporale, ceea ce este mai greu de înțeles folosindu-se noțiunile clasice ale cauzalității. O idee similară este susținută și de van Orden, Holden și Turvey (2005), care au răspuns obiecțiilor pe care Wagenmakers, Farrell și Ratcliff (2005, în van Orden et al., 2005) le-au ridicat cu privire la explicațiile lor referitoare la datele care indică prezența paternurilor de tip fractal (o scalare de tip 1/f) în măsurătorile multor fenomene cognitive. După părerea lui van Orden et al. (2005), astfel de paternuri reflectă o proprietate emergentă a sistemului cognitiv ca sistem dinamic complex. Ei nu își pot imagina cum și la ce nivel s-ar putea modela cauzal mecanicist un astfel de comportament emergent, care ar fi părțile lui componente, pentru că în prezent nu există nici o cale de a introduce explicații la nivele inferioare nivelului unui fenomen emergent. Din definiția însăși a unei structuri fractale ar reieși că nu e nevoie să se identifice detaliile unor mecanisme cauzale interne pentru a-i explica, la nivel teoretic, apariția. Van Orden et al. (2005) menționează, în acest sens, că pentru "sisteme complexe opace", comportamentul ar fi cel care ar putea motiva ipoteza autoorganizării și nu detaliile unor componente primitive care interacționează. Prin urmare, le e greu autorilor citați să întrevadă posibilitatea existenței unui model mecanicist al emergenței, motiv pentru care nici modelele dinamice nu ar trebui să fie considerate a fi subspecificate pentru că nu furnizează explicații mecaniciste. Van Orden et al. (2005) cred că cele două strategii de modelare sunt principial diferite și, prin urmare, nu ar trebui evaluată una dintre ele în baza principiilor celeilalte. În viziunea lor, și modelările dinamiciste, la fel ca și cele mecaniciste, permit generarea de ipoteze testabile empiric. Acestea se pot referi la proprietățile emergente, cum ar fi cazul luat în discuție de acești autori, cel al prezenței scalării 1/f în fenomenele cognitive. Potrivit lui van Orden et al. (2005), un sistem cognitiv care are un comportament cu o astfel de scalare impune ipoteze

noi, neprevăzute până acum. O primă astfel de predicție posibilă ar fi aceea că, indiferent de natura sa, cogniția nu poate fi descompusă în "procese independente statistic". O a doua ar fi aceea că performanța cognitivă este guvernată de aceleași procese, indiferent de scala temporală (pe termen lung și pe termen scurt), ceea ce ar sugera, de exemplu, și necesitatea existenței unui singur sistem de memorie, ceea ce contravine modelelor actuale ale memoriei. Părerea lui van Orden et al. (2005) ar fi, prin urmare, că fenomenele psihice, în general, ca și cele cognitive, în particular, prezintă o dinamică intrinsecă, care face mai adecvată o modelare în care interacțiunea e dominantă și nu analiza unor componente. În plus, în opinia sa, comportamentele orientate către un scop ar fi explicabile prin principiile autoorganizării și nu prin mecanisme neurocognitive speciale.

O comparație sintetică a abordărilor de tip dinamic cu cele computaționalist simbolice este realizată și de Saulnier (2003). În primul rând, autorul citat remarcă faptul că există o legătură necesară între o abordare reprezentaționalistă și computaționalistă și modul în care sunt concepute relațiile sistemului cognitiv cu mediul său. Citându-l pe Lenay (1993, în Saulnier, 2003), el observă că, dacă se admite că sistemul cognitiv este privit ca supunându-se unei cauzalități funcționale distincte de cauzalitatea specifică suportului său material (sistemul nervos și mediul ca atare) și ca trebuind să se adapteze pentru a reprezenta o realitate exterioară preexistentă, atunci computaționalismul simbolic este justificat. Dar dacă problematica unei adaptări concepute în acest context este absentă, admițându-se că există o continuitate (și în ceea ce privește cauzalitatea) între sistemul cognitiv, organism și mediul său sau că mediul este el însuși definit de organism, atunci, Saulnier (2003) crede că e necesară o schimbare de optică asupra cogniției. Noul obiectiv ar fi acela nu de a înțelege cum se adaptează la un mediu străin un sistem dat, ci de a înțelege stabilitatea și coerența internă a sistemelor cuplate dinamic. Într-o astfel de viziune, în care nu există o separare clară între cogniție, organism și mediu (acestea fiind cuplate dinamic) și, prin urmare, nici adaptare în sensul său clasic, urmându-l și pe Varela (1994), care e împotriva unei opoziții între halucinații și percepții, Saulnier (2003) arată că nu ar putea să fie justificată existența unor reprezentări greșite (de vreme ce nu există un mediu absolut, separat, care să fie de reprezentat).

O a doua observație generală a autorului mai sus citat, care are relevanță în ceea ce privește compararea abordării dinamice cu computaționalismul simbolic, este aceea că ipoteza dinamică presupune două

componente distincte: una ontologică şi alta epistemică. Prima componentă o reprezintă afirmaţia că agenţii cognitivi sunt, din punct de vedere ontologic, sisteme dinamice. A doua componentă implică numai teza că agenţii cognitivi pot fi înţeleşi în termenii TSDN. Saulnier (2003) crede că prima presupunere nu este în mod necesar incompatibilă cu computaţionalismul simbolic, de vreme ce acesta ar putea admite că simbolurile au la bază procese fizice, care sunt dinamice din punct de vedere ontologic. În schimb, computaţionalismul neagă cea de-a doua presupunere a ipotezei dinamice, aceea că astfel de procese de bază dinamice ar avea relevanţă pentru studiul cogniţiei, neţinând exclusiv de nivelul implementaţional.

În afară de această diferenţă semnificativă, alte câteva aspecte esenţiale care disting computaţionalismul simbolic de abordările de tip dinamic sunt evidenţiate de Saulnier (2003). Prima se referă la perspectiva asupra timpului, care în modelele dinamice, după cum s-a menţionat şi în cele de până acum, este esenţial, în sensul că cogniţia nu mai e văzută ca având o structură secvenţială, serială şi ciclică, care urmăreşte nişte etape clar definite: percepţie, gândire şi acţiune, ci ca o "coevoluţie continuă şi de neîntrerupt" în timp. O altă distincţie se referă la importanţa acordată mediului corporal şi extracorporal, care pentru susţinătorii poziţiei dinamice este esenţial, ceea ce îi determină să adopte poziţia unei cogniţii "situate". Atitudinea faţă de reprezentări este un alt aspect în care cele două clase de modele aflate în discuţie se deosebesc radical. Dacă în computaţionalismul simbolic se susţine un tip clar definit de reprezentări, necesitatea lor nefiind pusă în discuţie, în cazul modelelor dinamice, rolul lor este fie negat, fie reinterpretat. Când el este acceptat, se propun noi formate de reprezentare, care presupun o stabilitate tranzitorie şi o dependenţă de context care decurg în mod natural din caracteristicile dinamice ale reprezentărilor. Un alt aspect diferenţiator este acela că, în modelele dinamice, se pune accentul şi pe studiul raporturilor în timp între variabile numerice cantitative. El ar permite să se determine importanţa pentru comportament a distanţelor care se pot defini astfel între stările unui sistem studiat, a raportului dintre schimbările de stare produse şi durata în care acestea s-au produs sau a vitezei cu care evoluează un sistem. O discuţie mai largă se poartă în ceea ce priveşte posibilitatea ca modelele dinamice să fie capabile, cel puţin la un anumit nivel al lor, de anumite forme particulare de compoziţionalitate. Aceasta este o caracteristică prin care, până acum, modelele computaţionalist

simbolice erau diferențiate de restul modelelor cognitive. În această privință, se face referire la afirmația lui van Gelder (1990, cf. Saulnier, 2003) că în conexionism ar fi posibilă o compoziționalitate "funcțională", diferită de compoziționalitatea din computaționalismul clasic, pe care el o numește "concatenativă". Saulnier (2003) este de acord cu această afirmație, adăugând că, în cadrul unei abordări dinamice el întrevede posibilitatea doar a satisfacerii unei compoziționalități locale și a unei sistematicități contextuale, pentru că, în concepția sa, nu se pot respecta, integral, toate cele trei constrângeri: sistematicitatea, compoziționalitatea nelimitată și relevanța pentru organism (sau identificarea unei origini a structurilor cognitive). Diferențele dintre cele două tipuri de abordări sunt analizate mai în detaliu de Saulnier (2003) în cadrul unui tabel (vezi Tabelul 2).

Kriz (2001) se concentrează pe tipul de explicație cauzală oferită în cadrul unei abordări dinamice a proceselor cognitive, remarcând faptul că, spre deosebire de computaționalismul clasic, în care ordinea pare impusă, dinamica cognitivă fiind efectul unei "împingeri din spate", din trecut (ca în cauzalitatea clasică), în modelele dinamice, cauzalitatea e mai degrabă una de tip teleologic, dinamica sistemului fiind explicată prin forțe care atrag, care "trag din față", din viitor. Astfel de forțe acționează în vederea completării întregii configurații a unui atractor dinamic. Pentru a ilustra această idee, Kriz (2001) apelează la exemplul apariției aplauzelor ritmice la sfârșitul unui spectacol. După o perioadă de aplauze haotice, se produce o stare instabilă în care apar brusc aplauzele ritmice a numai câtorva persoane dintre spectatori. Pentru că acest tip de aplauze este mai expresiv, va atrage atenția persoanelor din jur, crescându-se probabilitatea ca și acestea să îl adopte. Pentru o scurtă perioadă de timp, va exista o competiție între mai multe ritmuri, după care ritmul preferat de către cei mai mulți dintre spectatori se va impune, pentru că va fi capabil să atragă mai mult atenția celor din jur și, astfel, disponibilitatea lor de a-l prelua și ei. Descrierea acestui proces de stabilire într-un atractor al coordonării aplauzelor oferă o imagine în care un observator extern va avea impresia că spectatorii sunt "atrași" de anumite forțe să aplaude într-un anumit ritm, fără să existe o decizie conștientă anterioară din partea lor (conform unei cauzalități clasice) sau un dirijor, o persoană care să impună din exterior un astfel de ritm.

Dincolo de cele sesizate de diverși autori în ceea ce privește comparația abordării dinamice cu abordările concurente din științele cognitive,

este de admis observația generală a lui Pronovost (2006), care stabilește sursa disputei dintre dinamicism și computaționalismul clasic în confuziile conceptuale cu privire la ce este cogniția, computația sau care ar fi "natura, rolul și formatul reprezentărilor". A existat tendința ca, în cadrul ambelor tabere, poziția adversă să fie deformată (ducând-o la extrem, de exemplu) în așa fel încât să fie ușor de combătut sau să pară absurdă.

Tabelul 2. Comparația dintre abordarea computațională și cea dinamică

	Abordarea computațională	**Abordarea dinamică**
Raportarea la starea și schimbarea unui sistem	Centrată pe noțiunea de stare discretă. Schimbarea în timp permite trecerea de la o astfel de stare la alta.	Stările sunt mediul schimbării, centrarea fiind însă pe schimbare.
Geometrie și structură	Starea unui sistem e definită printr-o structură sintactică și combinatorie.	Starea unui sistem e concepută ca un punct, poziție, într-un spațiu stare, care poate fi înțeles geometric.
Structura temporală	Se presupune transformarea succesivă în timp a unei structuri statice în alta.	Se presupune existența simultană a mai multor structuri care se află în interacțiune.
Transformare serială sau în paralel	În timpul unei tranziții de la o stare la alta nu se schimbă decât o variabilă (simplă sau compusă), restul rămânând neschimbate.	În timpul unei tranziții se schimbă simultan toate variabilele.
Definirea inputurilor și outputurilor	Procesul cognitiv e precis delimitat, existând inputuri clar definite, urmate de prelucrarea lor internă în cadrul sistemului pentru a genera un ouput anticipat ca fiind adecvat.	Procesul nu e precis delimitat, neavând un început sau un sfârșit care să poată fi identificate. Schimbarea continuă e mereu adaptată.

O altă categorie de autori trec de etapa precizării naturii dinamice a sistemului cognitiv și a proprietăților sale și se preocupă de tipul de

modele dinamice care ar fi adecvate pentru a descrie procesele care se desfăşoară în cadrul acestuia.

Unii dintre ei susţin rolul *teoriei catastrofelor* în modelarea proceselor cognitive. În afară de autorii citaţi în cadrul părţii de istoric a abordării dinamice în psihologie care au scris studii în perioada anilor '70, când teoria catastrofelor era în plină vogă, există şi exemple mai recente. De exemplu, Hopkins şi Butterworth (1997) afirmă că teoria catastrofelor oferă "un cadru conceptual suficient de larg" pentru a modela schimbarea formelor sintactice, a categoriilor limbajului şi ale gândirii, realizând astfel, la fel ca şi René Thom, o apropiere între statutul de teorie morfogenetică a teoriei catastrofelor şi procesul de generare a formelor gândirii, indiferent de natura acestora. Delacour (2001) crede că se poate vorbi de un "întreg curent epistemologic contemporan" care este întemeiat pe teoria catastrofelor, având ca idee principală că cogniţia este "în primul rând percepţie şi recunoaştere de forme" şi nu "construire de algoritmi", indiferent de nivelul despre care se vorbeşte, chiar şi la cel al gândirii logico-matematice. Se evidenţiază, astfel, concepţia unei unităţi procesuale a sistemului cognitiv, indiferent de nivelul de organizare la care au loc procesele sale. La nivel perceptual, ca şi la nivelul gândirii formale, e vorba de acelaşi procese dinamice de generare de forme care sunt similare unor tranziţii de tip catastrofic.

La un nivel de detaliu diferit, alţi teoreticieni care au abordat dinamic procesele cognitive au arătat consecinţele pe care le are o astfel de abordare asupra *ideii de prelucrare de informaţie*. Astfel, Lucas (2005b) susţine că e greşită ideea că la nivelul creierului s-ar realiza prelucrarea informaţiei, aceasta fiind doar o analogie exterioară care e, cel mult, convenabilă unui observator extern, reprezentând punctul său de vedere. În concepţia sa, în cadrul sistemului cognitiv nu are loc o manipulare pe plan intern de simboluri, la fel cum se procedează pe plan extern, iar rolul stimulilor externi nu este acela de a determina schimbările din cadrul acestuia. Ei au doar un rol "declanşator", influenţa lor fiind determinată de starea în care se găseşte sistemul dinamic prin care se realizează cogniţia, stare care apare, însă, printr-un proces de autoorganizare, în virtutea dinamicii intrinseci a sistemului. Astfel, stimulul extern poate realiza, cel mult, o selecţie între mai multe stări generate prin dinamica sistemului cognitiv. Lucas (2005b) conchide că la nivel cognitiv nu se realizează o "hartă" a mediului, ci sistemul cognitiv doar generează răspunsuri proprii prin contactul cu influenţe externe. O

astfel de concepție este apropiată de viziunea unora dintre susținătorii ipotezei dinamice, într-o variantă extremă, pentru studiul cogniției, potrivit cărora nu mai e nevoie să se vorbească de reprezentări mintale în ceea ce privește procesele cognitive, cel puțin nu în sensul de structuri interne statice izomorfe unor structuri externe. De asemenea, nu ar fi nevoie de reprezentări interne nici pentru stocarea informației, ea putându-se realiza în mod dinamic. Delacour (2001) ilustrează ideea de mai sus cu o analogie din lumea fizică. Ea se referă la urmarea unei căi diferite în viitor și ajungerea la o altă destinație, în funcție de drumul parcurs până într-un anumit loc. Cu alte cuvinte, informația care se referă la drumul parcurs va fi stocată prin determinarea unei anumite căi de urmat în viitor, fără ca ea să fie păstrată undeva anume.

Există însă și autori care nu contestă ideea de reprezentare, preocupându-se mai mult să găsească *corespondențe între noțiuni ale TSDN și anumite comportamente cognitive*, plecând de la ideea generală că orice proces cognitiv (de discriminare, de decizie, de evocare etc.) poate fi reprezentat ca un flux dinamic neliniar într-un spațiu fază (Eiser, 1994).

O primă categorie de astfel de autori se concentrează pe *ideea de atractor*, ca structură dinamică prin intermediul căreia ar putea fi interpretate o serie de procese cognitive. Un exemplu este cel al lui Kileen (1989, în Eiser, 1994). Potrivit acestuia, activitățile cognitive de tip reflex ar avea la bază atractori de tip punct fix ai sistemului cognitiv, care sunt astfel încă de la naștere. Tot prin atractori punctuali s-ar explica și comportamentele apărute prin imprinting sau obiceiurile, dar aceștia se formează și se stabilizează mai târziu, după naștere, printr-o singură apariție a unui stimul (pentru imprinting) sau prin repetiția unor circumstanțe (pentru obiceiuri). Atractorii stabilizați corespunzători diferitelor comportamente cognitive diferă și prin puterea lor de atracție. Cea mai mare putere ar avea-o atractorii pentru percepția categorială, una de nivel mediu cei ai unor stiluri comportamentale, dacă acestea persistă pentru o perioadă relativ lungă de timp, iar cea mai slabă ar corespunde unor operații de moment, cum ar fi, de exemplu, aceea a transformării mintale a unei imagini date.

Kentridge (1994), Houghton (1994) și Oaksford și Malloch (1994) dezvoltă această ipoteză a atractorilor punctuali cu rol cognitiv, presupunând că orice structură stabilă a unui sistem dinamic poate să constituie suportul reprezentărilor cognitive și al prelucrării informației. Ei se referă, în special, la modelele de tip conexionist ale fenomenelor cognitive. În

primul rând, Oaksford şi Malloch (1994) afirmă foarte răspicat că dacă se doreşte a se găsi o interpretare a dinamicii cognitive prin dinamica reţelelor neuronale, atunci această dinamică cognitivă trebuie să se regăsească la nivelul atractorilor din reţeaua neuronală. Argumentul lor ar fi acela că, dat fiind că procesele cognitive au o desfăşurare temporală definită, structurile corespunzătoare lor într-un sistem dinamic trebuie să aibă şi ele o scală de timp asociată. Atractorii cu bazinele lor de atracţie ar fi singurele structuri ale unui sistem dinamic care îndeplinesc condiţia pusă. Totuşi, această interpretare poate fi pusă sub semnul întrebării de observaţia pe care ei o fac că există o discrepanţă între scala temporală pe care se desfăşoară procesele cognitive şi scala temporală a atractorilor proceselor dinamice de la nivelul reţelelor neuronale existente, cele cu atractor de tip punct fix. De aceea, Oaksford şi Malloch (1994) pledează pentru o depăşire a stadiului în care atractorul de tip punct fix este socotit a fi modelul conexionist standard pentru reprezentare, pentru că nu există nici un motiv pentru care celelalte tipuri de atractori (ciclici, cvasi-periodici, toroidali, haotici) să nu poată să aibă un rol cognitiv. Astfel s-ar rezolva şi problema reprezentării secvenţialităţii proceselor cognitive în reţelele neuronale, pentru că secvenţialitatea ar fi o proprietate naturală a unui sistem dinamic şi traiectoriile lui ar putea fi antrenate să tranziteze între atractori în mod automat, explicându-se, în acest mod, procesele gândirii logice. Prin urmare, Oaksford şi Malloch (1994) susţin că nu doar atractorii, ci şi modul în care se combină, se separă, cum apar şi dispar prin bifurcaţii, adică prin *tranziţii de fază*, nu de stare, poate primi o interpretare cognitivă.

Sipvey şi Dale (2006) schiţează un tablou general care este similar, în linii mari, cu cel sugerat de Oaksford şi Malloch (1994). Pentru aceştia, procesele cognitive ar putea fi descrise ca desfăşurându-se într-un spaţiu stare cu dimensionalitate ridicată, stările mintale şi paternurile activităţii neuronale fiind puncte ale acestuia. Proximitatea dintre punctele sale va însemna o proximitate a stărilor mintale corespunzătoare. Într-un astfel de spaţiu, există regiuni atractoare (bazine de atracţie) care exercită o forţă de atracţie care scade gradual cu distanţa (comparabilă cu forţa gravitaţională din sistemul solar), reprezentând stările mintale spre care sistemul psihic tinde să evolueze. Activitatea mintală ar presupune o evoluţie continuă prin acest spaţiu. Recunoaşterea unui obiect, cuvânt sau a unei categorii ar presupune captarea traiectoriei evoluţiei continue în timp într-un bazin de atracţie care include stările mintale cele mai

atractive în contextul dat. Observând că există puține cercetări care să investigheze în timp real dinamica temporală continuă a cogniției la scala milisecundelor, Spivey și Dale (2006) cred că dacă ele s-ar realiza, s-ar ajunge la aceleași rezultate obținute în cercetările dezvoltării cognitive prin urmărirea dinamicii sale la scala săptămânilor sau a lunilor. Precum acestea au evidențiat că tranzițiile între presupusele stadii de dezvoltare nu sunt salturi discrete, ci schimbări continue neliniare, la fel, s-ar putea dovedi că tranzițiile între stările mintale au o aceeași natură, fiind continue și neliniare. În concluzie, cei doi autori contrapun ideii unei cogniții înțelese ca o computație pas cu pas, una în care ea e interpretată ca implicând o competiție permanentă între procese continue care interacționează. Tabloul general pe care ei îl propun ar fi acela al unui flux continuu al stimulării din mediu care alimentează ariile perceptuale cerebrale, care, pentru că primesc un anumit feedback de la zonele cerebrale de nivel superior, ajung să aibă o activitate care se bazează pe o combinație de paternuri de activare senzorială și paternuri de activare care sunt reintroduse din nou la acest nivel după ce au trecut prin alte zone de nivel superior. Aceste paternuri amestecate s-ar propaga, apoi, în cascadă, către ariile de nivel superior, unde proporția dintre componentele mai mult perceptive față de cele mai mult cognitive propriu-zis se schimbă în defavoarea primelor. Pe măsură ce paternurile se propagă continuu, mai departe, către zonele motorii cerebrale, ele vor începe să aibă, de asemenea, o pondere din ce în ce mai mare a componentelor relaționate acțiunii. Ciclul se închide dacă se ține cont de faptul că reprezentările acțiunilor pot fi formulate în termenii rezultatelor perceptuale așteptate sau că output-ul motor continuu va modifica semnificativ, ulterior, stimularea senzorială continuă. Tabloul schițat este rezumat de Spivey și Dale (2006) în ideea generală că procesele cognitive prezintă o schimbare continuă în pregnanța unor reprezentări multiple care sunt simultan active.

Rockwell (2005) propune o asociere a noțiunilor de atractor și bazin de atracție (mai precis a celei de mulțime invariantă) cu ceea ce Fodor (1983, în Rockwell, 2005) numește modul cognitiv, în baza ideii că un bazin de atracție poate fi considerat în mod separat într-un sistem dinamic, ceea ce ar corespunde, parțial, proprietăților modulelor cognitive de a fi specifice pentru un domeniu și "încapsulate" informațional. Totuși, interpretarea modulelor ca bazine de atracție, le conferă acestora proprietăți întrucâtva diferite de cele prin care sunt caracterizate în mod clasic. În primul rând, nu pot fi specifice unui domeniu în mod stabil, pentru că, pe

măsură ce parametrii care controlează dinamica sistemului se schimbă, caracteristicile cognitive ale unui atractor (funcțiile sale) se pot schimba. Nici caracteristica încapsulării informaționale a unui modul nu este una care să fie mereu valabilă, stabilă: e suficient ca încapsularea să existe doar "în momentul executării funcției sale", pentru că, în rest, ar fi valabilă mai mult "interpenetrarea informațională". Rockwell (2005) arată că, având în vedere numărul mare de parametri care e necesar să se echilibreze pentru ca să emeargă o mulțime invariantă, este foarte improbabil ca un bazin de atracție să rămână stabil suficient de mult timp pentru a fi considerat ca fiind încapsulat informațional.

O serie de autori elaborează modele cognitive generale dinamice mai complexe.

Un prim exemplu ar fi acela al lui Thelen (2003), autoare citată și mai sus, al cărei model dinamic general al proceselor cognitive are la bază ideea de cogniție încorporată, cogniția superioară fiind distribuită, multideterminată, fără granițe clare și stabile între percepție, acțiune, amintire, planificare. Mintea, mediul și corpul sunt văzute (conform și Chiel și Beer, 1997, în Thelen, 2003) ca fiind ordonate nu serial sau ca ierarhizate, ci ca sisteme dinamice scufundate unul în altul (sistemul nervos este parte integrantă a corpului și acestea două, cuplate, sunt scufundate în mediu) și continuu cuplate, interacțiunile dintre ele fiind continue și bidirecționale (ceea ce ar reprezenta consecința esențială a unei abordări dinamice, în viziunea autoarei mai sus citate). Cuplarea și scufundarea sunt permanente, ele nedispărând în niciun context, în nicio etapă a dezvoltării. Ce se schimbă este doar natura cuplărilor. În starea inițială, aceste cuplări sunt mai rigide și specifice. Ulterior, progresiv, emerge abilitatea de a modula cuplarea, astfel încât să crească adaptabilitatea la situațiile variate și în schimbare, crescând fluiditatea comportamentului. În consecință, pe măsură ce se dobândește competența în executarea unei sarcini cognitive, cuplările devin mai flexibile și mai responsive dinamic la această sarcină, dobândindu-se capacitatea de a le schimba rapid și adecvat. Plecând de la ideile generale de mai sus, Thelen (2003) crede că pentru a înțelege cogniția de nivel superior este esențial să nu se abandoneze originile ei senzorio-motorii, pledând pentru teza că strânsa cuplare dintre acțiune, percepție și cogniție care există în primele luni de viață se menține și ulterior, atât doar că ea devine mai adaptativă și flexibilă. După părerea autoarei menționate anterior, nu e suficient să se

recunoască originile senzorio-motorii ale cogniției de ordin superior, ci să se admită și că gândirea și acțiunea rămân legate intim, pe tot parcursul vieții, astfel încât rezultatul dezvoltării nu este o ridicare deasupra senzorio-motorului, ci o cogniție care "să se simtă acasă în corp".

Thelen (2003) emite ipoteza că această cuplare dinamică și continuă dintre minte, corp și mediu s-ar reflecta printr-o performanță crescută deopotrivă în sarcinile de gândire logică și abstractă (reprezentând o cogniție mai puțin cuplată cu inputul, prin procese "off-line"), dar și în procesările "on-line" (reprezentând o cogniție mai directă, strâns legată de input) și prin comutarea rapidă și neîntreruptă între cele două regimuri de activitate cognitivă. În concepția sa, ar fi mai de interes să se cunoască modul în care ajung să fie legate dinamic și flexibil cele două tipuri de cogniție, decât să se identifice structurile pur abstracte ale minții. Thelen (2003) sugerează că cogniția superioară emerge din cea inferioară pe calea unui proces recursiv de asocieri de asocieri, care începe cu activitățile recurente frecvente ale sugarilor. În acest fel ar emerge, mai întâi, categorii perceptual motorii. Ulterior, încrengătura de categorii care se suprapun se extinde și devine mai densă, iar categoriile devin mai abstracte și mai generale. Presupunând că procesele implicate sunt dinamice și se desfășoară în paralel, va fi posibil, după cum sugerează Thelen (2003), ca să se poată comuta oricând între cogniția abstractă "off-line" și cea directă "on-line".

În concluzie, perspectiva propusă de Thelen (2003) este cea a unui sistem cognitiv scufundat și cuplat care are trei caracteristici prin care se distinge de un "model tradițional serial de tip input-output". 1) Sistemul e *determinat de cauze multiple* și se *autoorganizează*, comportamentul fiind un patern care emerge din cooperarea unor multiple componente care au aceeași importanță. 2) Sistemul este dinamic, în sensul în care comportamentul său poate fi descris ca paternuri în timp, starea sa curentă fiind în funcție de stările precedente (nu doar numai din trecutul îndepărtat sau doar din cel imediat, ci în funcție de ambele), determinând la rândul său starea viitoare. Se înlocuiește astfel viziunea în care sistemul cognitiv ar fi alcătuit din "structuri sau module statice", cu una în care el consta din procese în timp. 3) Sistemul cognitiv *va varia în stabilitatea* sa relativă, în funcție de tăria legăturilor care asigură coerența componentelor. Acestea trebuie să slăbească, sistemul pierzându-și temporar stabilitatea, pentru ca sistemul să poată forma noi paternuri stabile.

Înscriindu-se în aceeaşi linie de gândire şi de cercetare ca şi Thelen, Kelso (2003) propune o perspectivă asupra cogniţiei centrată, simultan, pe încorporarea proceselor cognitive şi pe ideea de dinamică coordinativă. Potrivit definiţiei date de autorul citat dinamicii coordinative, aceasta este o direcţie de investigare ştiinţifică care are ca obiectiv înţelegerea prin analiză teoretică şi experimentare a modului în care "paternurile de comportament coordonat emerg, persistă, se adaptează şi se schimbă" în cazul sistemelor biologice şi psihice. Cogniţia ar fi rezultatul coevoluţiei creierului, a corpului şi mediului în care creierul este scufundat. Pe de altă parte, coordonarea între părţile componente ale creierului are o natură duală: acestea îşi păstrează funcţiile locale individualizate, interacţionând simultan reciproc, ceea ce conduce la formarea unor configuraţii spaţio-temporale globale ale activităţii neuronale, care sunt, în acelaşi timp, specifice anumitor funcţii cognitive şi dependente de context. Kelso (2003) numeşte un astfel de regim de funcţionare ca fiind metastabil. Natura duală a dinamicii coordonării ar conduce, potrivit acestui autor, la dispariţia unor distincţii conceptuale cum ar fi aceea de program vs. autoorganizare (comparând situaţia cu aceea din fizică cu privire la dualitatea undă/particulă a luminii), înţelegerea proceselor cognitive bazându-se predominant nu pe dihotomii, ci pe complementaritatea unor concepte. De exemplu, el înlocuieşte dihotomia static-dinamic cu cuplul stabilitate şi instabilitate, iar în ceea ce priveşte disputa program vs. autoorganizare crede că identificarea grupului de comportamente care au în comun o aceeaşi dinamică a coordonării, care să fie specifică unei funcţii, este similară demersului prin care se definesc "clase de echivalenţă de procese" pentru a explica modul prin care un acelaşi program (algoritm) realizează procese diferite.

Kelso (2003) evidenţiază faptul că dinamica coordonării are în centrul său două teme conceptuale complementare. Prima este aceea a mecanismelor cooperative şi competitive care formează sau schimbă în mod spontan paternuri în sistemele complexe cognitive. A doua este aceea a modului în care informaţia este creată în astfel de sisteme şi modulată de procesele spontane ale formării paternurilor, precum şi a rolului său în modularea unor astfel de procese.

Propunerea teoretică a lui Kelso (2003) este valoroasă şi prin completarea cu un program de cercetare, prin sugestiile sale cu privire la metodologia unei cercetări care are la bază ideea de dinamică coordinativă. Strategia de investigare ar avea ca şi punct cheie alegerea (de către

cercetător, pe baza unei informări extinse) unui nivel de descriere a unui fenomen cognitiv şi înţelegerea cuplării acestuia cu nivelele adiacente (deosebindu-se, astfel, de strategiile tradiţionale de tip reducţionist, care încearcă explicarea proceselor de la un anumit nivel prin procesele de la un nivel inferior, considerat ca "fundamental", dar şi faţă de strategiile care presupun o dihotomie "top-down", descendent, vs. "bottom-up", ascendent). Urmează apoi identificarea variabilelor relevante ale coordonării (adică a parametrilor de ordine) şi investigarea dinamicii lor. Identificarea se va face prin urmărirea schimbărilor calitative, a momentelor în care apar bifurcaţii, care se află în centrul unei astfel de abordări dinamice. Importanţa care se acordă acestor schimbări de ordin calitativ este motivată, pe de o parte, de faptul că instabilitatea dinamică este considerată a fi mecanismul de bază prin care paternurile autoorganizate apar şi se schimbă, iar, pe de altă parte, de faptul că o astfel de schimbare (de tip neliniar) permite distincţia paternurilor. Următorul pas al strategiei este acela al identificării parametrilor de control (specifici sau nespecifici), prin modificarea cărora pot să apară noi paternuri coordinative. Astfel, se stabileşte o parte a contextului în care un anumit fenomen cognitiv se produce. Cunoscând parametrii de ordine şi pe cei de control, este posibil ca, ulterior, să se obţină regulile sau legile dinamice după care se schimbă stabilitatea stărilor coordinative de la un anumit nivel de descriere. Paşii de mai sus se vor repeta pentru nivelurile de descriere adiacente: cel de deasupra, care furnizează condiţiile de graniţă pentru dinamica de la nivelul iniţial, şi cel de dedesubt, al dinamicii componentelor, din ale căror interacţiuni neliniare emerge dinamica nivelului de descriere ales la început. Kelso (2003) îşi numeşte strategia ca fiind o *reducţie constructivă*, pentru că, investigând cuplarea unui nivel cu cele adiacente, este posibil ca ceea ce este separat să fie reunit din nou. În absenţa unei astfel de strategii de cercetare, prin care instrumentele dinamice să capete un sens conceptual, o abordare dinamică se poate dovedi nerelevantă, ea nefiind un "panaceu" în sine (Kelso, 2003).

Tschacher et al. (2003), concentrându-se şi ei pe ideea de autoorganizare şi dezvoltând-o, susţin o teorie în cadrul căreia elementul cheie este ipoteza că proprietatea esenţială a formării paternurilor autoorganizate rezidă în funcţionalitatea lor, cu alte cuvinte, în adaptarea, ghidată de un scop, la constrângerile de mediu. Funcţionalitatea paternurilor ar deriva, în concepţia autorilor citaţi, din consumul în maniera cea mai eficientă a gradienţilor exteriori care guvernează evoluţia în timp a acestora,

creându-se, astfel, iluzia că formarea lor sinergetică este "intenţională", cu scop, adaptativă. În acest mod, atributele intenţionale ale minţii ar fi înţelese în termeni fizici.

Intrând în detaliul teoriei propuse de Tschacher et al. (2003), se porneşte de la scopul declarat al autorilor: descrierea unei proprietăţi a unei clase de sisteme (sistemele complexe aflate în stare de dezechilibru care sunt studiat de sinergetică şi de teoria aotoorganizării) care să "semene" cu intenţionalitatea. Autorii anterior citaţi consideră că sunt posibile două strategii de investigare a unei astfel de proprietăţi. Una porneşte de la sistemele fizice ca date şi încearcă, ulterior, explicarea actelor cognitive intenţionale. Cealaltă pleacă de la date bine documentate fenomenologic, pentru a le pune, ulterior, în legătură cu sistemele fizice. Indiferent de direcţia demersului, teoria care ar sta la baza sa se întemeiază pe trei ipoteze, care au fost derivate de Tschacher et al. (2003) folosind conceptele termodinamcii şi cele ale sinergeticii. Prima ipoteză este aceea potrivit căreia fenomenele autoorganizării pot fi abordate prin reformularea legii a doua a termodinamicii. Un corolar al acesteia ar fi creşterea spontană a ordinii într-un sistem deschis. A doua ipoteză este aceea că reformularea celei de-a doua legi a termodinamicii se poate face astfel încât să implice ideea că formarea paternurilor (prin creşterea spontană a ordinii) se face cu scopul reducerii gradienţilor impuşi sistemului, ceea ce le-ar conferi funcţionalitate şi intenţionalitate. Ultima ipoteză prevede că paternurile de activitate care se formează au eficienţe diferite în reducerea gradienţilor. Dintre acestea se va realiza, însă, în sistem doar acel patern care are eficienţa maximă, optimă, în disiparea gradienţilor.

La modul concret, oferind un exemplu, Tschacher et al. (2003) consideră că trimiterea unei scrisori de dragoste ar reprezenta un gradient psihologic, care va modela acţiunea individuală până când acest gradient va fi redus prin trimiterea scrisorii, virtualitatea transformându-se în realitate. La modul mai general, ei arată că mediul îşi reduce proprietăţile valente doar prin îndeplinirea unei acţiuni care este ghidată tocmai de aceste valenţe ale mediului. După cum susţin autorii mai sus citaţi, reducerea gradienţilor poate fi în mod frecvent complicată de existenţa unor gradienţi competitori sau interconectaţi.

Noţiunea de "scop" este reformulată de către Tschacher et al. (2003), în contextul teoriei lor, ca reprezentând un gradient (cu sensul de tensiune) din mediul agentului, iar funcţionarea orientată către un scop a

autoorganizării înseamnă că cea mai eficientă cale de reducere a gradienților va fi preferată (automat aleasă) în condițiile în care acțiunea va fi autoorganizată (sau, cu alte cuvinte, asamblată în mod lax: în engleză, "soft-assembled"). În acest fel, autorii teoriei consideră că se elimină necesitatea unui homunculus ascuns care să gireze execuția pas cu pas a unei ierarhii de planuri, care, în concepția lor, reprezintă metafora nucleu a psihologiei cognitive tradiționale. Un alt avantaj al teoriei propuse de ei ar fi posibilitatea de a explica, în sfârșit, în cadrul unei termodinamici generale, pregnanța "formelor bune" identificate de gestaltiști: acestea ar fi bune tocmai pentru că sunt bune căi disipative. În cadrul teoriei formulate de către Tschacher et al. (2003), și alte noțiuni folosite în psihologie cum ar fi valențele, potențialităților funcționale (în engleză, "affordances"), vigilența ar reprezenta parametri de control de tipul unor gradienți ai dezechilibrului, care acționează impulsionând (în engleză, "driving") un sistem complex către formarea unor paternuri emergente (din cele posibile), în condițiile constrângerilor impuse de mediu. Astfel de paternuri emergente sunt funcționale în raport cu mediul, pentru că ele "consumă" în modul cel mai eficient gradienții care le determină evoluția, dând impresia că astfel de paternuri sunt intenționale (în sensul aparent al intenționalității, dar nu în cel al unei trăiri psihice calitativ distincte, care, potrivit autorilor citați, ar depăși posibilitățile explicative ale teoriei sistemelor). Tschacher et al. (2003) apreciază că propunerile lor teoretice ar fi un pas în direcția schimbării sensului în care se desfășoară cercetările în științele cognitive. În loc ca ele să evite considerarea așa numitei cogniții "fierbinți", întrepătrunsă puternic cu motivația, și să prefere concentrarea exclusivă pe cognițiile "reci", ceea ce generic s-ar numi prelucrarea informației, în centrul interesului ar trebui să se afle tocmai cognițiile "fierbinți", contestându-se chiar posibilitatea existenței cogniților "reci". O astfel de schimbare de optică s-ar datora viziunii că investigarea gradienților și valențelor care implică procesele motivaționale ar permite o mai bună înțelegere a paternurilor cognitive care se formează în sistemele departe de echilibru.

O teorie de factură dinamică asupra cogniției generale care e înrudită cu ultimele două (prin ideea cogniției încorporate și cea a autoorganizării) este formulată de Jordan (2003), încorporând, în plus, și noțiuni mai specifice cibemeticii. În concepția sa, percepția și planificarea acțiunii formează un singur sistem de control care are ca funcție "specificarea și menținerea efectelor distale (adică, coordonări organism

mediu).". Acesta ar fi cuplat dinamic cu sisteme de control ale inputului de nivel inferior (somato-senzorial), prin intermediul cărora se controlează relațiile dintre efectori, necesare pentru a realiza efectele distale specificate. Sistemele aflate în discuție nu vor determina "paternuri comportamentale", ci vor controla orice dimensiune a inputului (feedback-ului) pe care o pot detecta și care afectează relațiile dintre efectori. Schimbările în relațiile dintre corp și mediu produse de sistemele de control al inputului de nivel inferior vor reintroduce feedback în sistemele efectului distal. Pe scurt, ar fi vorba de două sisteme de control al inputului incluse unul în altul, care sunt sinergic cuplate și care exercită controlul la două scale spațio-temporale diferite. Modelul presupune, în continuare, în opoziție cu concepțiile tradiționale, că acțiunea, percepția și cogniția sunt toate sisteme de control ale inputului, autocatalitice, ele deosebindu-se doar prin distalitatea efectelor (inputurilor) pe care le controlează: prin acțiune se controlează inputurile somato-senzoriale (ceea ce în mod tradițional se cheamă efecte), prin percepție se controlează efectele distale, iar cogniția de nivel superior ar controla efectele virtuale.

În lumina unor astfel de ipoteze, intenționalitatea și conștiința sunt văzute ca neimplicând o dihotomie, ci un continuu gradat, dimensionalizat prin distalitatea efectelor pe care un sistem se străduiește să le mențină. Distanțându-se de alți adepți ai unei abordări dinamice a intenționalității (de exemplu, Keslo, Thelen sau Clark), Jordan (2003) subliniază că, în opinia sa, aceasta nu ar trebui pusă în legătură cu un rezultat la nivelul paternului corporal (ceea ce ar reprezenta un obstacol pentru integrarea sa în TSD și ordinea naturală), ci cu prespecificarea și controlul efectelor distale care vizează coordonarea dintre organism și mediu. Jordan (2003) își compară modelul cu abordările care ignoră încorporarea cogniției, punându-l în opoziție cu acestea în ceea ce privește presupunerea lor că scopul proceselor interne ar fi producerea și controlul outputului comportamental eficient. Argumentul ar fi acela că, în sistemele care se autorganizează, cum este și cazul unei cogniții încorporate, nu este nevoie de prespecificări prin instrucțiuni ale comportamentului. În viziunea sa, sarcina unui organism nu este de a poziționa efectorul corect în timpul și spațiul potrivit, ci de a reduce scala spațio-temporală a unei probleme, astfel încât ea să poată fi rezolvată prin intermediul dinamicii spațio-temporale a sistemelor sale de control. Se deduce din formularea acestui model că autorul citat nu stabilește o

opoziție între noțiunea de control și cea de autoorganizare, după cum se procedează de obicei, ci, prin ideea de autocataliză, reușește să le compatibilizeze. Autocataliza ar oferi un model de control care se autoorganizează prin faptul că implică, în mod necesar, compensarea perturbațiilor. Consecința ar fi aceea că Jordan (2003) distinge între sisteme dinamice care sunt autocatalitice (cum sunt organismele vii) și sisteme dinamice care nu sunt autocatalitice (cele pur fizice). Perspectiva sa generală ar fi aceea că organismele nu au ca scop supraviețuirea într-un mediu cu care se luptă, ci sunt ele însele stări ale mediului incluse (încapsulate) în mediu, fiind "o lume în lume".

Haselager et al. (2003) pledează și ei pentru recunoașterea importanței pe care interacțiunile corporale cu mediul o au pentru cogniție. Luarea lor în considerare presupune o schimbare de optică față de abordările încă predominante din științele cognitive, autorii citați schițând o comparație a acestora cu teoriile dinamice care au în centru ideea de cogniție încorporată. În cadrul paradigmei standard în psihologia cognitivă se pleacă de la presupunerea unor reprezentări interne și resurse computaționale date și a unui mediu care pune în fața organismului probleme pe care acesta ar trebui să le rezolve prin procese interne de prelucrare a informației. Cogniția ar însemna, în mod esențial, rezolvare de probleme și planificare, care se bazează pe un depozit de cunoștințe prin care se reprezintă lumea. În schimb, într-o abordare dinamică, care pune accent pe încorporarea cogniției, se pleacă, în primul rând, de la "posibilitățile de acțiune pe care corpul și mediul le oferă organismului" și nu de la resurse computaționale cu o origine necunoscută. Organismul nu e văzut a fi mai degrabă în conflict cu mediul, generând probleme de adaptare, ci ca oferind "oportunități" de interacțiune. Sarcina cogniției ar fi ca ea să identifice și să găsească un răspuns pentru aceste oportunități sau disponibilități de acțiune prezente la un moment dat, și mai puțin să elaboreze planuri pe termen lung pe care să le ignore în mare măsură. Îndeplinirea unei astfel de sarcini s-ar sprijini nu atât pe cunoștințe reprezentând intern mediul, ci pe un repertoriu comportamental care este captat, capacitat (în engleză, "tapped into") de mediu, în ideea de tip gibsonian (specifică psihologiei ecologice) că majoritatea informației relevante necesare unui răspuns nu trebuie stocată, pentru că este permanent prezentă în mediu, disponibilă accesării și utilizării. Haselager et al.(2003) cred că și dacă s-ar admite ideea "stocării" unei părți din cunoștințe, ar fi mai util ca acestea să fie interpretate nu ca "informații

despre lume", ci ca "paternuri comportamentale încorporate care rezonează la mediul în care sunt incluse". În acest sens, autorii citați sugerează că ar fi necesar ca noțiunile de "încorporare" (în engleză, "embodiment") și de "scufundare" (în engleză, "embeddedness") să fie transformate în noțiuni mai precise, mai ales cu ajutorul TSDN, astfel încât pe baza lor să fie posibile cercetări experimentale.

Ideea de cogniție încorporată este susținută și de Anderson (2003), el încercând o sinteză generală asupra perspectivei pe care aceasta o implică asupra cogniției. Cogniția încorporată presupune o reconsiderare a naturii proceselor cognitive, în care accentul pus pe operațiile formale asupra unor simboluri abstracte (ca în computaționalismul ortodox) se mută pe conceperea lor ca "activitate situată". O astfel de schimbare de optică, potrivit lui Anderson (2003), a început în filosofie acum în jur de 50 de ani, iar în inteligența artificială în urmă cu aproximativ 15 ani. Ea și-a concentrat atenția pe gândirea care apare în viața zilnică, care se desfășoară în contexte de mediu foarte specifice și, uneori, foarte complexe, fiind utilizată pentru scopuri practice prin exploatarea posibilităților de interacțiune cu și manipulare a factorilor de susținere externi. Această viziune generală este împărtășită și de teoriile cogniției încorporate și ale cogniției situate. Cele două programe de cercetare sunt văzute de Anderson (2003) ca și complementare și înrudite, ele deosebindu-se prin preocuparea diferită pentru găsirea unei soluții pentru problema întemeierii simbolurilor (în engleză, "symbol grounding"), care se referă la sursa conținuturilor cognitive sau, în mod particular, la originea sensului simbolurilor abstracte. Teoriile cogniției încorporate se preocupă, în mod special, de găsirea acestor origini în experiența corporală a unui agent și în caracteristicile fizice ale mediului cu care acesta interacționează. Printre primii promotori ai unei astfel de concepții, în varianta sa radicală, s-a aflat Brooks (1991), un cercetător în domeniul inteligenței artificiale. El a considerat că modelele clasice reprezentaționaliste ale cogniției nu sunt plauzibile biologic și a susținut modele "reactive" ale percepției, care nu presupun un nivel reprezentațional. Concluzia sa este că pentru a simula nivelele cele mai simple de inteligență, reprezentările explicite și modelarea mediului extern de către agentul artificial sunt un obstacol, fiind de preferat să se utilizeze mediul extern ca model al lui însuși. El a generalizat apoi această concluzie, apreciind că reprezentările nu sunt potrivite ca unități de analiză a sistemelor inteligente.

Prin urmare, Anderson (2003), urmându-l pe Brooks (1991), consideră că o consecință a insolvabilității problemelor dinamicii mediului și a relevanței reprezentărilor (prezentate mai pe larg în secțiunea precedentă) ar fi o schimbare de concepție asupra activității cognitive ca orientare către un scop și planificare a realizării acestuia. Soluțiile propuse ar fi acelea de a accepta planuri mai scurte, o atenție mai mare acordată mediului și reprezentări selective. Dar plecând de la astfel de sugestii, următorul pas logic, evidențiat de Anderson (2003), ar fi acela ca, la extrem: a) să se elimine complet planurile, activitatea de planificare, ajungând-se la susținerea existenței doar a acțiunilor imediate; b) să se înlocuiască atenția sporită acordată mediului cu atenția constantă îndreptată către acesta, ceea ce ar echivala cu utilizarea lumii ca fiind propriul său model; c) să se extindă noțiunea de reprezentare selectivă până când limita dintre percepție și acțiune s-ar anula, ajungându-se chiar la o gândire a percepțiilor în termenii acțiunii. Adoptarea unor astfel de soluții ar însemna, la extrem, să se accepte un model al cogniției mai reactiv, care presupune o orientare situativă către scop. Concluzia lui Anderson (2003) este aceea că, chiar dacă nu se renunță complet la noțiunea de reprezentare și se păstrează deopotrivă abilitățile reactive și deliberative ale cogniției, o presupusă facultate de a reprezenta ar trebui, conform noii concepții, să fie constrânsă de capacitățile inferioare, cum ar fi cele ale mișcării și acțiunii într-un mediu dinamic.

O poziție care ar putea fi apreciată ca o tentativă de integrare a multora dintre propunerile teoretice prezentate mai sus este cea susținută de Keijzer (2003), aceasta având în centrul său noțiunea de autoconducere (în engleză, "self-steering"), care este esențială și pentru cibernetică și pentru modelele cognitive tradiționale. În viziunea sa, însă, noțiunea în cauză este reinterpretată dinamic, fiind concepută a fi "un tip de autoorganizare prin intermediul unor parametri de control interni". Astfel de factori de autoconducere ar fi asimilabili unor reprezentări interne (acceptându-se, astfel, ideea de reprezentare în teoriile autoorganizării), doar că, spre deosebire de modul cum sunt acestea definite în mod obișnuit, ele nu pot fi separate sau nu au un sens independent de procesele de autoorganizare la autoreglarea (modularea) cărora participă. Raportată la noțiunea de intenționalitate, autoconducerea este considerată de Keijzer (2003) ca fiind un "concept mai bazal" decât acesta, adecvat și pentru niveluri inferioare de organizare ale cogniției. Ea nu ar implica impunerea cu forța a unei ordini unui sistem pasiv, care nu a avut la

început o ordine, pentru a-l modela într-o anumită formă, cum se crede în mod predominant. În contrast cu această poziție, Keijzer (2003) sugerează că sistemul însuși care este condus este cel care este sursa procesului de formare a unui patern. Acest lucru înseamnă că e vorba de o conducere mai puțin directă, care implică doar o modulare a unor procese aflate în curs. O astfel de modulare ar echivala, după un exemplu dat de autorul citat, cu impulsionarea sistemului de a urma o anumită direcție de evoluție când se ajunge la un punct în care mai multe astfel de direcții sunt posibile. Factorii interni (parametrii de control) care realizează modularea trebuie să fie, după sugestia lui Keijzer (2003), la o scală microscopică și să fie protejați de alți factori microscopici care i-ar putea modifica decât acele influențe care sunt relevante pentru declanșarea activității lor modulatoare. Ei nu ar oferi o descriere a ceea ce va avea loc, ci doar declanșează (ca un comutator care pornește, oprește sau modifică) "procese specifice de autoorganizare într-un context specific", idee întrucâtva similară cu cea a lui Lucas (2005b), prezentată mai sus. Astfel de factori declanșatori sunt, practic, nespecifici, neavând o legătură semantică intrinsecă cu ordinea macroscopică autoorganizată pe care se întâmplă să o controleze sau cel puțin să o influențeze. În acest sens, nu îi putem considera ca reprezentări interne în sensul strict, obișnuit, rolul lor fiind doar de declanșare sau de autocataliză (după cum se sugerează că alți autori ar prefera să descrie acest proces) a unor propensități deja prezente în ceea privește formarea paternurilor. Dar, deși factorii interni de conducere nu "simbolizează sau nu reprezintă ordinea" pe care o fac posibilă, după cum arată Keijzer (2003), pentru că au o "influență predictibilă și repetabilă" în ceea ce privește apariția acesteia, adică a unui anumit patern autoorganizat, ei pot fi concepuți a fi similari reprezentărilor, prin existența unei corespondențe sistematice între aceștia și factori externi.

Prin urmare, Keijzer (2003) crede că strategia generală propusă de Kelso (2003), de mutare a dinamicii în domeniul simbolic prin interpretarea proceselor de autoorganizare ca fiind "intrinsec informaționale" și nu pur fizice, nu ar fi una de preferat, pentru că ignoră faptul că ideea de informație însăși este cea care trebuie explicată, ceea ce ar genera o circularitate în argumentare. Propunerea sa, în schimb, ar fi aceea de a muta simbolicul în dinamic, prin interpretarea dinamică a conceptului de autoconducere. Keijzer (2003) recunoaște că pot exista loop-uri (cicluri) percepție-acțiune care ar putea fi "ușor confundate cu simbolurile inde-

pendente de context", ceea ce ar face ca parametrii interni de control să pară a se transforma în entităţi simbolice de tip intenţional care dau impresia de a "încorpora dinainte chiar ordinea pe care doresc să o producă". Explicaţia pe care o oferă este aceea că sunt posibile niveluri multiple de autoconducere, care se suprapun progresiv unele peste altele, ceea ce ar permite ca loop-urile percepţie-acţiune să participe la realizarea unor scopuri pe termen lung, care sunt disociate de un context fizic actual. Keijzer (2003) admite el însuşi că modelul pe care îl propune este doar plauzibil, neavând dovezi concrete care să îl susţină. De aceea, autorul mai sus citat sugerează că e nevoie, pe viitor, ca cercetările să depăşească stadiul implicării principiului autoorganizării în general în studiul proceselor cognitive, ajungându-se la găsirea unor căi specifice de aplicare a acestui principiu pentru înţelegerea cogniţiei.

Elemente ale teoriilor anterioare se regăsesc, la un nivel de sinteza, într-o teorie de nivel mai general, de factură mai filosofică şi cu multe conexiuni cu baza biologică a cogniţiei, elaborată de filosoful şi biologul Francisco Varela, care are în centrul său ideea de autopoieză, susţinută împreună cu un alt filosof şi biolog din Chile: Humberto Maturana. Lucrările sale, elaborate încă începând cu anii '80, prefigurează multe din ideile actuale care circulă în cercul susţinătorilor unei abordări dinamice. Contribuţia sa specifică se rezumă la ideea că eu-ul cognitiv se bazează pe o "închidere operaţională" a sistemului nervos, care ar fi susţinută deopotrivă de datele neuroştiinţelor contemporane, cât şi de cele ale biologiei celulare (Varela, 1994). Termenul de "închidere" s-ar referi, în acest context, nu la izolarea sistemului cognitiv, ci la "calitatea autoreferenţială a reţelei interneuronale" şi a ariilor perceptual-motorii ale căror corelaţii le susţine. Termenul de "operaţional" accentuează ideea că nu e vorba de închidere ca absenţă a interacţiunilor, ci de sensul matematic de recursivitate. Prin urmare, procesele cognitive implică două trăsături importante: a) cuplarea cu un mediu care permite continuitatea în menţinerea unei identităţi, rezultând aparentul paradox că autonomia cognitivă se poate obţine doar prin această cuplare cu exteriorul; b) o dimensiune "imaginară", dată de un "excedent de semnificaţie" emergentă pe care interacţiunea cu mediul o dobândeşte. Logica fundamentală a sistemului nervos ar fi aceea a cuplării mişcărilor cu "un curent de modulări senzoriale", într-o formă circulară.

Şi pentru Varela (1994), comportamentul înseamnă, în primul rând, nu un control al efectorilor, ci o reglare a percepţiei, chiar dacă nu

exclude existența unor perturbări independente care ar veni din mediu. Ideea de bază este aceea că ceea ce se numește, în general, "stimul" în laborator: "o perturbare care este în mod deliberat independentă de activitatea prezentă" nu are o relevanță prea mare pentru înțelegerea cogniției (Varela, 1994). Varela (1994) respinge, de asemenea, conceptul unui agent central localizat (o unitate executivă) care ar coordona activitatea cognitivă. Tot ceea ce s-ar putea postula, în concepția sa, ar fi un agent (eu) virtual care reprezintă un patern global coerent care "emerge din interacțiunea componentelor locale simple", creând doar senzația că ar avea o localizare. El ar fi introdus, de fapt, de observatorul unei ființe, care are senzația unui control central, când, în realitate, reacțiile sunt o "colecție de comportamente în competiție" (după ideea seminală a lui Brooks, 1986, în Varela, 1994).

Din concepția generală asupra cogniției prezentată mai sus, Varela (1994) deduce câteva consecințe cu privire la modul în care pot fi interpretate alte noțiuni cheie din psihologia cognitivă, cum ar fi acelea de semnificație, informație, reprezentare, program etc. Procesele cognitive autopoietice creează mereu "o semnificație care lipsește", care nu e predefinită, dată de-a gata sau preexistentă. Această generare continuă de semnificație s-ar datora prezenței unui contratimp inevitabil între un sistem autonom autopoietic și mediul său, astfel încât întotdeauna rămâne ceva de echilibrat din perspectiva sistemului. Permanenta acțiune, nu asupra existentului din mediu, ci asupra a ceea ce lipsește din mediu, se convertește, în concepția lui Varela (1994), din punctul de vedere al unui observator extern, într-o activitate cognitivă continuă a sistemului, care stă la baza "diferenței incomensurabile dintre mediul în care sistemul este observat și lumea în care sistemul operează". După cum observă Varela (1994), o astfel de activitate cognitivă poate părea paradoxală. Pe de o parte, ea creează o lume (în sensul conferirii unei semnificații mediului) în cursul încercării "de a restabili o cuplare cu un mediu care sfidează coerența internă" prin perturbațiile sale. Dar aceleași acțiuni separă sistemul de mediul său.

Varela (1994) preferă termenul de semnificație în locul celui mai consacrat de informație pentru că, după părerea sa, dincolo de constatarea că ceva din mediul exterior perturbă un organism, acel ceva nu este informație. Argumentul său e acela că acea perturbare nu este nici o semnificație imaginată, nici un "bit de informație care așteaptă să fie colectat" de către sistem, ci ceva care apare, oferind o ocazie pentru o

cuplare cu mediul, al cărei rezultat va fi, ulterior, generarea unei informații. Exemplul oferit de Varela (1994) pentru a ilustra o astfel de idee este acela al culorii unui obiect, care nu ar fi o proprietate care trebuie să fie "recuperată" în mod univoc din informația oferită de mediu, ci o dimensiune care apare în urma "dialogului" filogenetic dintre un mediu și un sistem autonom activ, care "își definește singur parțial ceea ce contează ca mediu". Lumina și reflecțiile sale dau, în acest caz, doar o "modalitate de cuplare", o perturbare declanșatoare, care oferă ocazia constituirii unor corelații senzorio-motorii. Prin urmare, lumea nu mai e văzută ca o sursă de informații, în prim plan fiind autonomia sistemului cognitiv, care și le generează singur. Ceea ce se descriu a fi regularități relevante din mediu nu ar fi, în consecință, "trăsături externe internalizate", după cum susțin teoriile clasice reprezentaționaliste, ci rezultatul unui istoric lung de codeterminare. Potrivit viziunii prezentate, mediul nu doar că nu oferă informații, dar nu este nici cel care predetermină domeniul de probleme pe care trebuie să le rezolve un sistem cognitiv. Și noțiunea de program este reinterpretată de Varela (1994). Dat fiind că, în concepția sa, nu se poate vorbi de o distincție hardware vs. software la nivelul creierului sau de o distincție clară între ceea ce este simbol și ce nu, ceea ce ar corespunde noțiunii clasice de program ar fi paternurile emergente de activitate regulată, repetitivă, care rezultă din activitatea rețelelor neuronale. Astfel de paternuri nu sunt, propriu-zis, "computații", pentru că "dinamicile lor nu pot fi formal specificabile ca implementări ale vreunui algoritm de nivel superior". Totuși, astfel de regularități ar putea constitui baza unei compoziționalități realizate altfel decât printr-un computaționalism simbolic. În cadrul rețelelor neuronale nu apare nici o cale de tranziție între componentele operaționale elementare ale rețelei și nivelul superior emergent al comportamentului și semanticii.

Relevanță pentru formarea unei idei generale asupra abordării dinamice, mai ales în varianta în care cogniția încorporată joacă un rol central, o au și principiile înrudite ale așa-numitei inteligențe artificiale cu baza în comportament. Arnellos et al. (2006) sumarizează aspectele esențiale ale acestui tip de inteligență artificială. În cadrul lui, dezvoltarea unor sisteme artificiale adaptative presupune un demers prin care se începe cu construirea unor module simple, care au din start date câteva capacități de interacțiune, așteptându-se ulterior ca, prin intermediul acestora, să emeargă, prin autoorganizare (la fel ca în abordarea dinamică din psihologia cognitivă), noi astfel de capacități, caracteristice unui

comportament complex adaptativ. Şi noţiunea de adaptare este definită altfel decât în inteligenţa artificială tradiţională (adică în ceea ce în literatura de specialitate se numeşte GOFAI: Good Old Fashion Artificial Intelligence), ca fiind capacitatea unui sistem biologic de a interacţiona cu mediul şi nu aceea de a-l reprezenta intern, cum în general s-a crezut. Prin urmare, comportamentul inteligent e considerat a fi un rezultat al adaptării la mediul cognitiv şi social. Inteligenţa ca atare nu e privită ca reprezentând o abilitate de a pune în corespondenţă inputurile cu outputurile la un nivel abstract, ci o proprietate care apare din interacţiunea fizică a unui sistem cu mediul său înconjurător.

Steels (2003) identifică cinci principii de bază care stau la baza inteligenţei artificiale cu baza în comportament, care, după câte se poate constata, se suprapun, în mare parte, cu principiile abordării dinamice în general. Primul ar fi cel al încorporării şi al dinamicii, plecând de la ideea ca cogniţia presupune un corp fizic care interacţionează cu un mediu concret. Consecinţa unui asemenea principiu este aceea că senzaţiile şi acţiunea nu mai sunt privite exclusiv prin prisma statutului lor de input, respectiv output, pentru un program algoritmic, care operează independent de constrângerile spaţiale sau temporale. Obiectivul primar nu va mai fi simularea unor procese superioare ale cogniţiei, ci a unui comportament adaptat în timp real prin apelul la resursele proprii unui robot. Acesta nu mai este programat printr-o succesiune de decizii discrete, ci prin încorporarea unor sisteme dinamice prin care se cuplează mai mult sau mai puţin direct inputul senzorial continuu cu outputul continuu al acţiunii. Al doilea principiu este acela al situării şi al ecologiei, conform căruia, comportamentele unui agent artificial trebuie să fie contextualizate şi motivate printr-un mediu adecvat, astfel încât învăţarea şi selectarea lor să se facă în funcţie de nevoi reale, cum ar fi supravieţuirea individului sau a grupului. Emergenţa comportamentului este cel de-al treilea principiu. Conform acestuia, din interacţiunea comportamentelor simple între ele şi cu un mediu specific pot să apară comportamente care au o complexitate neaşteptată. Adaptarea şi evoluţia reprezintă al patrulea principiu. Consecinţa acestuia ar fi aceea că fiecare componentă a unui robot este astfel proiectată încât să se poată adapta şi altor funcţii, oricând. Prin urmare, nu există comportament optim definitiv, ci doar tranzient, iar adaptarea pe termen scurt va duce la evoluţia pe termen lung. Ultimul principiu, al dinamicii colective şi al autoorganizării, afirmă că, într-un sistem alcătuit din mai mulţi agenţi, aceştia se cuplează dinamic, astfel

încât vor influența întregul sistem, urmând ca să fie influențați de acesta la rândul lor. E vorba de o cauzalitate circulară și de un ciclu de feedback pozitiv care permite ca din fluctuațiile spontane locale să apară coerența la nivel colectiv, global.

În paragrafele următoare, sunt grupate o serie de modele dinamice care au ca nucleu central un tip special de dinamică (mai ales itinerența haotică), deosebindu-se, astfel, ca factură de cele prezentate mai sus, centrate în principal pe noțiunile de autoorganizare și cogniție încorporată.

Yamamoto și Kuniyoshi (2002) propun conceptul de dinamică globală pentru a înțelege comportamentele de tip dinamic, pe care îl aplică explicit mișcărilor motorii, dar, implicit, el poate fi extins pentru orice "mișcare psihică" de tip cognitiv, văzută în aspectele sale simbolice și de autocontrol. Ei evidențiază câteva proprietăți ale sistemelor dinamice care pot fi exploatate pentru a înțelege comportamentul unui sistem cognitiv, inclusiv al celui simbolic. Astfel, autorii citați mai sus consideră că în spațiul fază al dinamicii corpului există deopotrivă numeroase regiuni stabile și instabile. Acest lucru va permite reducerea inputului de control în momentele în care sistemul dinamic al corpului se află în apropierea regiunilor stabile și, pe de altă parte, comutarea între regiunile stabile prin utilizarea regiunilor instabile. De aceea, inputul extern de control va fi folosit doar pentru a deplasa sistemul între regiunile stabile. Simbolurile ar corespunde, în cadrul acestei dinamici, acelor puncte din evoluția unui sistem în care inputul de control ar trebui adoptat pentru a realiza o schimbare dorită. E ca și cum comportamentul sistemului ar putea fi descris ca un salt de la un nod la altul, nodurile fiind zonele în care controlul e necesar, ceea ce ar echivala cu o codare simbolică. Se sugerează, de către autorii citați, posibilitatea controlului comportamentelor din regiunile instabile în mod indirect, prin schimbarea parametrilor de control. Se constată că ideea cea mai importantă a celor doi autori este aceea în care ei diferențiază între două tipuri de transformări care pot avea loc în cadrul unui sistem cognitiv: cele care se produc fără efort, în virtutea dinamicii sale intrinseci, și cele care se realizează prin control extern, care poate fi sub forma simbolurilor, profitându-se de regiunile de instabilitate ale acelei dinamici. Astfel, comportamentul simbolic nu este exclus complet din cadrul acestei abordări de tip dinamic (cum se întâmplă cu alte modele dinamice), ci este reinterpretat, i se schimbă rolul și domeniul de aplicare. Procesele simbolice nu mai sunt necesare pentru a explica comportamentele spontane, care apar în virtutea

unei dinamici interne, sau pe cele automatizate, care rezultă în urma stabilizării prin formarea unor atractori, ci doar pentru comportamentele noi, care trebuie încă să fie controlate. Modelul lui Yamamoto şi Kuniyoshi (2002) reuşeşte să pună în evidenţă mai clar modul în care noţiunea de dinamică poate fi un concept unificator, prin care să se explice printr-un acelaşi proces, într-un mod intuitiv şi natural, tipuri contradictorii de comportament cum e cel automatizat faţă de cel controlat.

Contribuţia unui alt autor japonez, Tsuda (2001), prin introducerea conceptului de itineranţă haotică, ar putea amenda o parte a modelului realizat de Yamamoto şi Kuniyoshi (2002), mai precis, partea în care se consideră că e nevoie în mod necesar de un control prin parametri de control externi pentru a muta sistemul cognitiv dintr-o stare stabilă în alta. Tsuda (2001) propune un model de general de prelucrare a informaţiei în creier, plecând de la următoarele presupuneri. În primul rând, el consideră că TSDN poate fi utilă în principal pentru a interpreta funcţiile activităţii neuronale dinamice care s-a dovedit a exista în creier. Apoi, el susţine că informaţia e reprezentată deopotrivă de starea neuronilor şi de către relaţiile dinamice dintre aceste stări. Prin această afirmaţie, identifică o altă modalitate de reprezentare a informaţiei decât cea din reţelele neuronale clasice de tip conexionist. În acestea, reprezentarea informaţiei era mai degrabă statică, realizată prin atractori stabili de tip punct fix, ceea ce însemna o codare exclusiv la nivelul stărilor reţelei şi nu şi la cel al dinamicii ei.

Tsuda (2001) constată că dinamica observată în comportamentul haotic al oricărui sistem biologic are câteva caracteristici comune: o densitate neuniformă de distribuţie a probabilităţii şi o instabilitate de tip slab. El crede că acest lucru îl îndreptăţeşte să presupună că e vorba de o dinamică de tipul itineranţei haotice. În plus, subscrie şi el la ideea lui Haken (1995b) că formarea oricărui pattern la nivel cognitiv înseamnă, de fapt, recunoaşterea acestuia. În centrul modelului propus de el stă ideea că cea mai adecvată cale de a descrie procesele de prelucrare a informaţiei, adică de a interpreta procesele cognitive, este aceea care foloseşte structura informaţională a proceselor itinerante haotice. În cadrul acestui model, evocarea informaţiei date prin condiţiile iniţiale s-ar realiza prin divergenţa orbitelor, iar înregistrarea informaţiei s-ar face prin contracţia, convergenţa orbitelor. Bazându-se pe datele existente de neurofiziologie, el sugerează că ar fi plauzibil un sistem de codare a informaţiei alcătuit

din cuplarea unidirecțională a două sisteme dinamice: de la un sistem cu dinamică de tipul itineranței haotice, către un sistem dinamic cu o dinamică contractantă, mai precis unul care evoluează către un atractor care are o structură similară mulțimii lui Cantor (numită și praful lui Cantor), adică o mulțime continuă de puncte singulare nediferențiabile. Prin cuplarea dinamică, sistemul contractant (care reprezintă sistemele neuronale care sunt azi puse în legătură cu procese de bază cum ar fi cele senzoriale, care oferă informația inițială) va fi sub controlul sistemului cu dinamică haotică (reprezentând sistemele neuronale de la nivel superior, care oferă informația "top-down", de tip contextual). Ca urmare, informația conținută în condițiile inițiale e citită în sistemul haotic, cu traiectorii divergente, oferindu-i-se contextul de interpretare, și e apoi "scrisă" prin dinamica contractantă, stabilizatoare. În acest proces, secvențele de simboluri generate prin procesul itineranței haotice sunt codate ca elemente ale mulțimii atractoare din spațiul sistemului care se contractă, creându-se un tabel de codare, de corespondență biunivocă, între secvențele simbol și poziția elementelor în atractorul de tipul mulțimii Cantor.

Simbolurile nu mai au la Tsuda (2001) rolul de a muta sistemul între regiunile stabile, acesta mutându-se singur, în virtutea itineranței haotice, ci ele sunt generate ca marcând etapele unui astfel de drum itinerant, fiind ulterior înregistrate prin dinamica stabilizatoare. De asemenea, comparativ cu modelul propus de Yamamoto și Kuniyoshi (2002), instabilitatea și stabilitatea nu mai sunt asigurate de regiunile corespunzătoare ale unui singur sistem dinamic, ci sunt prevăzute, în locul lor, două tipuri de sisteme dinamice în cadrul sistemului cognitiv: unul cu funcție destabilizatoare, altul cu funcție stabilizatoare, prin a căror cuplare ar fi explicate procesele cognitive.

La modul general, se poate constata că, la fel ca și alți susținători ai abordării dinamice a proceselor cognitive, Tsuda (2001) crede că memoria și prelucrarea informației nu pot fi distinse. El consideră că o abordare din perspectiva dinamicii haotice a activității cerebrale s-ar putea caracteriza prin următoarele idei de bază. Prima ar fi aceea că pentru fiecare subsistem cerebral nu poate să se aloce o funcție univocă, pentru că funcția lui este determinată dinamic, astfel încât să se realizeze funcția întregului sistem cognitiv. La rândul său, funcția sistemului cognitiv nu e nici ea constantă, ci se modifică în funcție de mediu și de scopurile sistemului. De asemenea, nici granițele dintre subsisteme nu pot să fie fixe, pentru că nu e posibil să existe un mod rigid de prelucrare a informației, relația dintre subsisteme modificându-se în mod constant în

funcție de starea întregului sistem. Acest lucru evidențiază importanța mai mare a relațiilor heterarhice în raport cu cele ierarhice, cele heterarhice redefinindu-se mereu. A doua idee de bază ar fi aceea că informația de nivel superior nu e în mod necesar obținută prin combinarea informației de nivel elementar, ci ar fi rezultatul emergenței unor proprietăți noi, datorită activității dinamice haotice la nivelul neuronilor și al rețelelor neuronale. A treia ideea de bază este aceea că problema legării trăsăturilor pentru a forma reprezentări integrate ar fi, potrivit unei abordări dinamice, o pseudoproblemă, câtă vreme reprezentarea informației se presupune că se face la nivelul dinamicii globale a unui sistem.

O poziție foarte similară cu cea a lui Tsuda (2001) este susținută și de Kaneko (1998). El propune o abordare dinamică a cogniției care poate completa modelul elaborat de Tsuda (2001), el ținând seama și de raportul dintre alte două tipuri de dinamici implicate în procesele psihice: dinamica internă din cadrul unei unități considerate și dinamica externă, dintre unități. Practic, el distinge între o dinamică a subsistemelor și o dinamică a interacțiunii dintre subsisteme. Kaneko (1998) arată că, de fapt, rareori subsistemele ajung să se stabilizeze în anumite stări prin atingerea unor atractori definiți de dinamicile care le caracterizează. De cele mai multe ori, astfel de subsisteme se stabilizează în anumite stări în virtutea dinamicii interacțiunii dintre subsisteme. Aceasta permite emergența unor reguli de nivel superior, care presupun apariția unui comportament de tipul itineranței haotice. Printr-un astfel de comportament se realizează comutarea între mai multe stări ordonate, adică stări care au mai puține grade de libertate decât cele prin care e definit sistemul. De aceea, la fel ca și Tsuda (2001), Kaneko (1998) afirmă că reprezentările memoriei nu sunt localizate doar la nivelul stărilor interne ale unor subsisteme, ci la nivelul interacțiunii dintre ele. Și el plasează computația de tip dinamic nu la nivelul atractorilor, ci la nivelul tranzițiilor între atractori.

Pe aceeași linie se înscrie și Kampis (2003), care crede că procesul computațional are loc, în principal, prin tranzițiile dintre atractori și nu doar la nivelul atractorilor, considerând că conceptul de itinerață haotică e cel mai potrivit pentru a reda modul în care acest proces are loc deopotrivă la nivelul atractorilor și al stărilor tranzitorii. La fel ca și Kaneko (1998), el susține că, într-un sistem dinamic complex, atractorii nu sunt decât extrem de rar atinși, de cele mai multe ori fiind vorba de evasiatractori cum sunt atractorii Milnor, care sunt destabilizați pe

anumite direcții. De aceea, orbitele, cu alte cuvinte stările tranzitorii, nu leagă propriu-zis atractori, ci alte orbite, definindu-se, astfel, o nouă dinamică, de ordin superior, dar nu asupra stărilor, ci asupra orbitelor. Kampis (2003) face și observația că, din punct de vedere fenomenologic, un sistem care prezintă itinerantă haotică ar putea fi descris nu ca fiind un singur sistem, ci o secvență de diferite sisteme.

Aceste ultime trei modele prezentate mai sus, care au la bază ideea itinerantei haotice, sunt încă într-o fază preliminară a elaborării lor, având mai mult statutul de propuneri teoretice. Ele ar putea fi integrate într-unul singur, pentru că se completează reciproc. S-ar putea spune că reprezintă varianta japoneză a unei abordări dinamice a cogniției, una care e mai strâns legată de problematica inteligenței artificiale decât altele. Poate tocmai de aceea, aceste modele prezintă propuneri mai puțin generale. Din păcate, nu s-au făcut încă încercări pentru validare lor experimentală. Dar ele, spre deosebire de altele, prin concretețea ipotezelor pe care le susțin, ar fi mai ușor de testat prin simularea lor în cadrul unor rețele neuronale care să aibă tipurile de dinamici pe care le specifică. Deși, în general, au fost bine primite, ca fiind plauzibile, chiar dacă necesită precizări și studii ulterioare, există și autori care și-au exprimat rezervele în legătură cu acest tip de modelare dinamică, cum ar fi, de exemplu, Banerjee (2001), care susține că există date neurofiziologice ce par să contrazică astfel de modele.

O concepție țintind o sinteză aparte este cea propusă de Barham (1996), care propune o teorie fizică a sensului informației, plecând de la ideea unei teleologii naturalizate (pe care o definește ca fiind "coerența și coordonarea forțelor fizice care constituie o stare vie"). După părerea sa, nici semiotica, nici cibernetica nu sunt capabile să dea seama de sensul informației, ci doar termodinamica dezechilibrului și dinamica neliniară. În cadrul propunerii sale teoretice, funcțiile biologice sunt identificate cu niște oscilatori neliniari generalizați și cu atractorii lor din spațiul fază. Apoi se postulează printre acești oscilatori o componentă capabilă să coordoneze interacțiunile la niveluri energetice de intensitate redusă și condițiile de mediu adecvate care ar putea susține stabilitatea dinamică a oscilatorilor. În acest context, sensul informației este interpretat ca "predicție a unei acțiuni funcționale reușite".

După cum arată Barham (1996), aspectul semantic al informației este ignorat în teoria clasică a informației. Până acum s-a tins să se ignore, arată autorul citat, și faptul că informația nu e ruptă de energie și că se

pune problema, în acest context, ce "tip de organizare a energiei (dinamică) este necesar pentru a face să apară sensul"? După părerea sa, şi semiotica a eşuat în acest demers de explicare a originii sensului, pentru că ea nu este capabilă să depăşească stadiul în care se ajunge la "interpretant" ca şi concept primitiv, acesta fiind tratat ca o "cutie neagră". Nici cibernetica nu reuşeşte, în concepţia lui Barham (1996), să treacă dincolo de găsirea unei conexiuni între sens şi orientarea către scop (teleologie). Citându-l pe Rosen (1991, în Barham, 1996), el evidenţiază faptul că noţiunea de scop nu îşi poate găsi locul într-un sistem cibernetic, doar în termenii sintaxei acestuia. Argumentul invocat este acela că nu este nici o cale prin care să se specifice o anumită configuraţie de stare a unui mecanism cibernetic care să fie interpretabilă ca stare scop intrinsecă, adică strict din interiorul organismului, fără să fie impusă din exterior. Selecţia naturală nu poate să ofere o soluţie pentru rezolvarea acestei dificultăţi, pentru că ea presupune ordinea biologică şi, prin urmare, nu poate fi ea însăşi originea acelei ordini.

Propunerea pe care o face Barham (1996) este aceea de a se folosi termodinamica sistemelor neliniare pentru a înţelege sursa sensului informaţiei. Astfel, el pleacă de la ideea cunoscută că, în sistemele termodinamice deschise, în care fluxul de materie şi energie este mai mare decât timpul de relaxare, se va ajunge, în final, la o stare stabilă, atât timp cât influxul extern continuă, situată departe de echilibrul termodinamic. După cum menţionează Barham (1996), o serie de autori (Prigogine, 1980; Matsuno, 1989 şi Swenson, 1992, citaţi de Barham, 1996) au adus argumente în favoarea ideii că această stare stabilă reprezintă, de fapt, un comportament global ciclic, pentru că, în aceste condiţii, adică prin crearea de structuri macroscopice, energia se disipă mai rapid decât prin simpla relaxare termică. Astfel, s-ar explica fizic de ce oscilaţiile apar în aproape toate activităţile funcţionale, prezentând, la orice nivel, un anumit grad limitat de coerenţă şi autonomie.

Acest lucru îl determină pe Barham (1996) să creadă că s-ar putea modela orice activitate funcţională ca un oscilator neliniar împreună cu atractorul din spaţiul fază corespunzător. Consecinţa ar fi aceea că "succesul" unei activităţi funcţionale ar fi echivalent cu continuarea oscilaţiei, ceea ce, în termenii TSDN, ar însemna menţinerea stabilităţii dinamice. Această presupunere este combinată cu observaţia că sistemele biologice, ca sisteme termodinamice, se deosebesc de cele care nu sunt vii prin autonomia limitată pe care o au faţă de potenţialele energetice locale, fiind capabile să varieze rata lor de consum energetic independent de

variațiile gradienților locali, datorită rezervelor interne proprii de energie. Autonomia mai sus menționată le-ar permite organismelor vii să aibă o dependență mai redusă de mediu și să își mențină integritatea când condițiile sunt defavorabile, contracarând activ efectele lor (de exemplu, prin schimbarea ratei metabolismului sau prin evitarea contactului îndelungat cu condițiile dăunătoare). Corolarul ar fi, potrivit lui Barham (1996), că presupusul sistem oscilator va trebui să distingă între condițiile care îi sunt favorabile menținerii stabilității de cele care nu sunt astfel. Acest lucru îl determină pe autorul citat să tragă concluzia generală că autonomia energetică implică cogniția.

Modalitatea, preconizată de Barham (1996), prin care sistemele vii dobândesc o autonomie limitată față de potențialele locale cu energie ridicată este aceea a dobândirii capacității de a fi sensibile la fluxuri nelocale care au energie scăzută. Ele vor folosi energia scăzută de la surse distale pentru a detecta potențialele energetice ridicate (care le-ar putea distruge stabilitatea prin forța lor) înainte de a ajunge cuplate termodinamic cu acestea. Pentru a explica o astfel de stabilitate, Barham (1996) postulează existența unei diferențieri fundamentale între diversele funcții biologice. Există acțiuni funcționale globale, prin care un organism interacționează la un nivel energetic ridicat cu un set de constrângeri exterioare, și funcții locale, prin care se realizează interacțiuni la nivele energetice scăzute ale unui subsistem cu un al doilea set de constrângeri, care sunt puternic corelate cu cele din primul set. În plus, va fi necesară o componentă (numită 'epistemon'), în fiecare dintre funcțiile biologice, care să fie capabilă să interacționeze la un nivel energetic scăzut, componentă care ar reprezenta o generalizare a ideii de organ de simț. Ca rezultat al interacțiunii între constrângerile de la nivele energetice scăzute și epistemon, acesta din urmă își va schimba starea, ceea ce va servi ca factor declanșator al unei acțiuni funcționale globale, încheind un ciclu percepție-acțiune. Dacă există o relație cauzală între constrângerile de la nivelul energetic ridicat și cele de la nivelul energetic scăzut, atunci corelațiile dintre tranzițiile de stare ale epistemonului și oscilația funcției globale vor putea fi socotite ca fiind o reflectare a acelei relații cauzale. În acest fel, constrângerile de la nivelul energetic scăzut "acționează ca informație semantică" în raport cu acțiunea funcțională globală, "indicând prezența acelor condiții care sprijină cu succes acțiunea sa" (Barham, 1996). Într-o altă formulare a autorului citat, acest lucru ar echivala cu faptul că interacțiunea dintre constrângerile cu nivel energetic scăzut

(numite şi informaţionale) şi dinamica epistemonului vor prezice reuşita de moment a unei acţiuni funcţionale globale, ceea ce ar însemna că sensul unei informaţii poate fi definit ca predicţie a succesului unei astfel de acţiuni.

Un alt model aparte este şi cel conceput de Goertzel (1993a), care propune o teorie dinamică a minţii (cogniţiei) pornind de la ideea unui sistem dinamic definit pe spaţiul stare format din produsul cartezian al spaţiului stare al unui sistem psihic şi mulţimea de stări ale mediului său, ceea ce exprimă faptul că sistemul şi mediul sunt coevolutive. Un input al sistemului la momentul *t* e acea parte a mediului care, dacă e schimbată, poate duce la o schimbare imediată în starea sistemului în anumite circumstanţe. Un output al sistemului la momentul *t* e acea parte a sa care, dacă e schimbată, conduce, în anumite condiţii, la o schimbare imediată în starea mediului. Un astfel de sistem dinamic este echivalat de Goertzel (1993a) cu aplicaţiile definite pe aglomerări (clustere) de neuroni de către cercetările de tip conexionist ale lui Edelman (1988, în Goertzel, 1993a). Astfel de clustere ar fi formate, fiecare, din 50-10 000 neuroni care sunt conectaţi, în primul rând, cu neuronii din acelaşi cluster cu ei. Clusterele sunt legate prin conexiuni care pot fi întărite sau inhibate. O aplicaţie (în engleză:"map") este, în concepţia lui Edelman (1988, în Goertzel, 1993a), un set de clustere, care sunt activate în mod obişnuit într-o anumită ordine. Termenul de aplicaţie are, în utilizarea dată de Goertzel (1993a), un sens special, diferit de acela uzual de funcţie sau reprezentare grafică a unei funcţii. Ea nu este în mod necesar o funcţie pentru că, la acelaşi input, poate genera outputuri diferite, în circumstanţe diferite. De aceea, se deduce că înţelesul său ar fi doar cel de reprezentare, care nu e realizată în mod necesar printr-o funcţie, ci mai degrabă printr-o transformare continuă. O astfel de interpretare e sprijinită de afirmaţia lui Goertzel (1993a) potrivit căreia aplicaţia e un sistem dinamic pentru că outputul şi starea internă la momentul *t* depind de inputul şi starea sistemului la momentul de timp anterior. Procesele mintale ar consta din selecţia unor astfel de aplicaţii. Sistemul dinamic al unei aplicaţii este definit ca având o structură specială, fiind o "compunere serială/ paralelă de aplicaţii simple ale unor clustere izolate". După părerea lui Goertzel (1993a), termenii de aplicaţie sau program sunt echivalenţi din punct de vedere practic. El justifică această afirmaţie arătând că, în ciuda faptului că un program e discret, iar creierul e continuu, orice sistem continuu poate fi aproximat, oricât de mult, de sisteme discrete, astfel că diferenţa

continuu-discret devine neesențială. Ca urmare, un sistem dinamic ar fi gândit ca o rețea de procesori interconectați, inputul unuia fiind compus dintr-o submulțime a outputului unei mulțimi de *k* procesori, fiecare procesor putând fiind privit ca un subsistem dinamic, care are un spațiu stare definit de mulțimea tuturor stărilor sale posibile. Prin extensie, Goertzel (1993a) consideră mintea ca o rețea de procesori.

Se poate rezuma contribuția lui Goertzel (1993a) prin cele două idei principale ale modelului său. Prima ar fi ideea de coevoluție a psihicului și mediului într-un spațiu stare comun al unui sistem dinamic alcătuit din cuplarea lor ca subsisteme dinamice. Inputul și outputul primesc o interpretare particulară, ca modificări în aceste subsisteme care determină o schimbare bruscă și semnificativă în spațiul stare comun. A doua ar fi aceea a încercării unei sinteze dintre modelele cognitive bazate pe programe discrete de procesare a informației de tipul computaționalismului simbolic și modelele dinamice ale cogniției, susținând că sistemul cognitiv e un sistem dinamic alcătuit dintr-o rețea de procesori.

În direcția unei integrări a TSDN cu o abordarea computaționalist simbolică se situează și cadrul unificator propus de Treur (2005), plecând de la ceea ce au în comun cele două perspective asupra cogniției. Punctul de plecare îl constituie observația că esențială pentru TSDN este presupunerea că proprietățile unei stări date a unui sistem determină în mod complet proprietățile unor stări viitoare. Părerea lui Treur (2005) este aceea că această presupunere se regăsește în variate forme și concepte în patru discipline diferite: științele cognitive, fizică, matematică și informatică. În științele cognitive ea s-ar recunoaște implicit în forma conceptelor de dorință și intenție, în mecanica clasică în acelea de momentum, energie și forță, în matematică prin derivatele (de diferite ordine) ale unei funcții (care formalizează noțiunea de potențialitate), iar în informatică prin noțiunea mai recentă a sistemelor de tranziții (în engleză, "transition system"), care reprezintă un format curent de specificare a sistemelor dinamice și care poate fi interpretată, de asemenea, prin prisma ideii de potențialitate. La nivelul științelor cognitive, comparând TSDN cu principala abordare cu care se află în concurență: computaționalismul simbolic, Treur (2005) constată că acestea au în comun nu doar asumpția determinării printr-o stare (în engleză: "state-determined assumption"), ci și o consecință a acesteia: utilizarea proprietăților de stare anticipatorii (în engleză: "anticipatory state properties") și o deficiență: imposibilitatea de a oferi o soluție la problema realismului, adică a modului în care simbo-

lurile care descriu stările interne se relaționează cu realitatea. Aceeași deficiență s-ar regăsi și în fizică: proprietățile de stare anticipatorii sunt numai postulate, neputându-se dovedi dacă acestea sunt sau nu proprietăți de stare reale. Chestiunea esențială a acestei probleme generale ar fi aceea a modului în care se poate determina, pentru o anumită stare, că e pe cale să se schimbe într-o altă stare. În acest sens, importantă ar fi și identificarea modalității de stabilire a acelor proprietăți prin care noua stare va fi diferită de cea dată, pe baza unor proprietăți de stare anticipatorii, care sunt proprietăți ale stării date, prezente, sau combinații ale acestora. Existența unor proprietăți de stare anticipatorii într-o stare dată, care s-ar numi, cu un termen mai generic, potențialități, va face ca aceasta să o anticipeze pe următoarea. În acest mod, anticiparea schimbării ar putea fi codată, într-un anumit fel, într-o stare prezentă. În opinia lui Treur (2005), astfel de proprietăți de stare anticipatorii sunt cheia de boltă de care depinde validitatea TSDN și puntea sa de legătură cu conceptele similare din restul disciplinelor menționate. Viziunea finală a autorului citat este aceea că ceea ce au în comun computaționalismul simbolic și TSDN are la bază o concepție asupra realității ca o succesiune de stări, mișcarea și schimbarea fiind considerate doar ca iluzii, putând fi explicate prin introducerea ideii de potențialitate ca proprietate de stare anticipatorie. Deși Treur (2005) admite că nu este posibil să se demonstreze existența a ceva real sau fizic în starea unui sistem care să reprezinte un temei pentru o potențialitate ca proprietate de stare, ea ar fi acceptabilă în baza argumentului utilității ei în modelarea problemelor care au apărut în diverse domenii de aplicare (mai ales prin utilizarea ecuațiilor diferențiale). După cum observă acest autor, viața noastră de zi cu zi se bazează pe o mașinărie conceptuală (de exemplu, artefactele, care au la bază mecanica clasică) care funcționează furnizând predicții, fără să se înțeleagă de ce se reușește acest lucru.

Și Gärdenfors (1994) pledează pentru un demers integrationist în ceea ce privește raporturile computaționalismului tradițional cu abordarea dinamică, mai ales prin prisma înțelegerii comportamentului rețelelor conexioniste. El susține că nu este nevoie să se distingă între două tipuri de sisteme: dinamice și computațional-simbolice. În concepția sa, prelucrarea informației poate fi privită din două perspective. Una este cea dinamică, în care se urmărește modul în care o stare a sistemului se transformă (este transformată) în alta, dat fiind un anumit input al sistemului, care ar fi cea obișnuită pentru a descrie un sistem conexionist.

Altă perspectivă ar fi aceea în care se ignoră detaliile tranzițiilor succesive între input și output și se ține seama doar de relația dintre ce este reprezentat prin input și ce este reprezentat prin output. După părerea lui Gärdenfors (1994), această relație ar fi interpretabilă ca o "inferență simbolică", care e în concordanță cu paradigma simbolică. Astfel, autorul citat susține că, trecându-se de la o perspectivă la alta, inferențele simbolice pot să fie văzute ca fiind emergente din "asociațiile" dinamice. În consecință, nu ar mai fi justificată distincția între abordarea dinamică și cea simbolică, câtă vreme e vorba doar de două perspective asupra unui același sistem de prelucrare a informațiilor. Ulterior, plecând de la ideea că ontologia care e utilizată în definirea propozițiilor determină logica, Gärdenfors (1994) propune o reconstrucție a logicii propoziționale, care se bazează pe stările informaționale ca entități ontologice fundamentale, fără să se facă, inițial, presupuneri legate de structura acestora. Noutatea este însă că ele sunt concepute a reprezenta stări de echilibru, în temeiul supoziției că procesele dinamice care se află la baza lor au ajuns la o stare stabilă, făcându-se, astfel, legătura cu o abordare dinamică.

În cadrul teoretic propus de Gärdenfors (1994), inputul informațional este interpretat ca o funcție de la o stare informațională la o altă stare informațională. În consecință, după cum sugerează Gärdenfors (1994), când o funcție care reprezintă un anumit input este aplicată unei anumite stări informaționale K, valoarea acelei funcții va fi starea care va rezulta din acomodarea inputului la starea K. Cea mai simplă formă de extindere a unei stări informaționale este socotită a fi acceptarea unei dovezi ca fiind certă și este calea prin care Gärdenfors (1994) crede că se poate modela învățarea. O propoziție este definită de autorul citat ca reprezentând informația conținută într-un input corespunzător acceptării unei dovezi ca certe. La fel ca și inputul, ea este caracterizată ca o funcție definită pe un domeniu de stări informaționale cu valori tot într-un domeniu de stări informaționale. Această presupunere va constitui fundamentul pe care Gärdenfors (1994) va reinterpreta logica propozițională din perspectiva dinamicii informației. Ea este justificată intuitiv prin citarea unei observații făcute de Veltman (1991, în Gärdenfors, 1994), potrivit căreia sensul unei propoziții este dat de cunoașterea "schimbării pe care aceasta o produce stării informaționale a oricui care acceptă informația transmisă prin intermediul ei". Gärdenfors (1994) atenționează, însă, asupra faptului că nu toate funcțiile care sunt definite pe stări informaționale pot fi considerate propoziții, acestea din urmă corespunzând doar

unui anumit tip de input informațional, acela prin care o nouă dovadă este acceptată ca certă.

În cadrul aceluiași demers de apropiere a celor două paradigme: dinamic-asociaționistă și computațională simbolică, Gärdenfors (1994) arată că se poate elimina conflictul dintre cele două, dacă raporturile dintre modelele care le sunt corespunzătoare sunt reinterpretate. Astfel, el sugerează că diferența dintre cele două modalități de abordare a proceselor cognitive este mai mult una de scară temporală. Asociaționismul ar fi potrivit pentru studiul comportamentului 'rapid' al unui sistem dinamic (la o scală temporală redusă, pe termen scurt), în vreme ce structurile simbolice ar fi emergente ca trăsături ale comportamentului aceluiași sistem dinamic pe un interval de timp mai lung, la o scală temporală mai mare. Relațiile inferențiale sunt considerate a fi, în mod particular, la un nivel intermediar. Prin urmare, un același sistem, în funcție de perspectiva adoptată, va fi văzut deopotrivă ca funcționând pe baza unor mecanisme asociaționiste și ca având la bază procese inferențiale nonmonotone de urmare a unor reguli care operează asupra unor structuri simbolice. La o scală temporală și mai mare, pe intervale mai lungi, apare un nou proces, acela al învățării, corespunzând inferențelor inductive.

Următorul pas făcut de Gärdenfors (1994) în construirea unei sinteze teoretice care să integreze computaționalismul simbolic, conexionismul și abordările dinamice este acela al redefinirii noțiunii de schemă cognitivă, ca generalizare a noțiunii de propoziție, concepția sa fiind mult tributară, după cum o recunoaște el însuși, sugestiilor făcute de Smolensky (1986, în Gärdenfors,1994). Astfel, în concepția lui Gärdenfors (1994), o schemă corespunde unui vector în spațiul stare al unui sistem dinamic cognitiv. Reprezentarea schemei sau acceptarea sa înseamnă că componentele vectorului depășesc anumite valori prag, care sunt definitorii pentru vectorul acelei scheme. Plecând de la o astfel de definiție, Gärdenfors (1994) întrevede posibilitatea de a defini o ordine parțială între scheme pe baza conținutului lor informațional (în funcție de ordinul de mărime al valorii componentelor vectorilor care le caracterizează). Această ordonare presupune că există o schemă minimă (în care componentele vectorului sunt toate nule) și o schemă maximală (în care toate componentele vectorului schemei au valoarea maximă). Schemele cognitive astfel definite sunt folosite pentru a reprezenta obiecte, situații și acțiuni. Când o schemă α are un conținut informațional mai ridicat decât altă schemă β, atunci schema β va fi considerată ca fiind mai generală decât schema α sau, coreltiv, că schema α este o instanțiere a schemei β. Partea din α care nu e

în β e numită a fi o instanțiere variabilă a schemei β. Prin urmare, astfel de scheme vor avea variabile (sau părți variabile), chiar dacă în cadrul lor nu există vreo reprezentare explicită a acestor variabile, cum se întâmplă pentru modul în care sunt concepute schemele cognitive în mod tradițional. Doar valoarea unei variabile va fi reprezentată, dar nu variabila ca atare.

Concluzia lui Gärdenfors (1994) este aceea că perspectiva pe care o propune asupra schemelor cognitive înlocuiește simbolurile cu vectori care reprezintă diferite forme de paternuri (configurații). Ele își păstrează și în această interpretare, proprietatea tradițională de a susține presupuneri implicite legate de mediu, permițând și completarea informației care lipsește din input. Gärdenfors (1994) își compară ideile cu cele ale lui Smolensky (1986, în Gärdenfors, 1994), remarcându-le similitudinea. Astfel, Smolensky (1991, în Gärdenfors, 1994) arată că modul în care abordează el conexionismul se întemeiază pe ipoteza că reprezentările mintale sunt vectori care specifică parțial starea unui sistem dinamic (sau, în mod particular, activarea unităților dintr-o rețea conexionistă), iar procesele mintale sunt specificate prin ecuații dinamice care guvernează evoluția acelui sistem dinamic.

Gärdenfors (1994) trece apoi la un alt nivel al construcției sale teoretice. El susține că e posibil ca schemele definite ca vectori, în modul cel mai simplu posibil, să permită emergența, la nivelul sistemului dinamic, a unei structuri care prezintă proprietățile compoziționalității și sistematicității, pe care paradigma simbolică le consideră a fi necesare în caracterizarea unui sistem cognitiv. O astfel de posibilitate este justificată prin definirea unor operații elementare care pot fi concepute a fi valabile pentru astfel de scheme cognitive. Prima operație ar fi *conjuncția* a două scheme. Prin aceasta rezultă o nouă schemă cognitivă, ale cărei componente se obțin reținându-se valoarea maximă care corespunde uneia dintre componentele corelative din cele două scheme de bază. Într-o interpretare empirică, această operație ar corespunde coincidenței sau observării simultane a două scheme. A doua operație este aceea a derivării schemei *complementare* unei scheme inițiale, care, în cazul extrem, când componentele vectorului unei scheme pot lua doar valori binare, se va confunda cu operația clasică de negare. În general, însă, complementul unei scheme nu e negarea sa, pentru că acesta reflectă lipsa unei informații pozitive legate de schema inițială și nu o schemă opusă, fiind interpretată mai degrabă ca o schemă care corespunde observării a tot ce este altceva decât schema inițială. Consecința unei astfel de interpretări este aceea că este imposibil să se definească o implicație care să derive

din conjuncție sau o derivare a schemei complementare, pentru că, discutându-se la nivel intuitiv, este imposibil să se observe o implicație în mod direct. Ordonarea schemelor cognitive nu va reflecta, în consecință, relații de implicație, ci doar o gradare a conținutului informațional pozitiv. Ultima operație propusă este aceea de *disjuncție* a două scheme, rezultând o schemă ale cărei componente sunt definite prin valoarea minimă a componentelor corelative a celor două scheme de bază. O schemă disjunctivă este interpretată ca reprezentând o generalizare, la nivelul unei variabile de bază, a celor două scheme din care rezultă și care reprezintă instanțe ale acesteia.

Mulțimea tuturor schemelor va forma, după cum arată Gärdenfors (1994), o structură algebrică booleană atunci când schemele sunt vectori cu valori binare, ceea ce ar reprezenta o bază pentru o structură sintactică (și compozițională) a mulțimii de vectori corespunzători schemelor cognitive. Inferențele ca atare primesc însă o conceptualizare dinamică, considerându-se a se produce atunci când sistemul dinamic cognitiv se stabilizează în starea corespunzătoare rezultatelor inferenței (numită *stare rezonantă*) pentru un anumit input dat. Expectanțele generate în baza unei scheme cognitive vor fi, prin urmare, trăsături care caracterizează o stare de echilibru a sistemului, în contrast cu un input tranzient.

În acest fel, printr-o interpretare din două perspective diferite a unui același sistem dinamic de prelucrare a informației (în particular, o rețea conexionistă), Gärdenfors (1994) crede că e posibilă o trecere de la nivelul subsimbolic la cel simbolic, nemaifiind necesar să se presupună, așa cum au făcut-o Fodor și Pylyshyn (1988, în Gärdenfors, 1994), că e nevoie de două sisteme distincte pentru a opera la cele două niveluri. Autorul citat susține că e posibil ca nivelul simbolic să fie emergent nivelului subsimbolic în cadrul aceluiași sistem. Poziția sa, după cum el însuși remarcă, se deosebește de aceea a lui Smolensky (1988, în Gärdenfors, 1994) doar prin aceea că el nu consideră că nivelul simbolic și cel subsimbolic sunt incompatibile, așa cum a susținut acesta. Pe de altă parte, el observă că afirmația lui Smolensky (1988, în Gärdenfors, 1994) este justificată în contextul în care acesta a făcut-o, adică referindu-se la imposibilitatea de a adopta perspectiva simbolică și cea subsimbolică numai la un singur nivel, așa cum Fodor și Pylyshyn (1988, în Gärdenfors, 1994) au încercat să o facă. Gärdenfors (1994) este de acord parțial, și cu concepția pe care Smolensky (1988, în Gärdenfors, 1994) o are cu privire la activitatea de la nivel subsimbolic, ca reprezentând efectul unor constrângeri laxe, flexibile (în engleză: "soft contraints") și

nu al unor reguli (constrângeri) stricte, rigide. Acestea din urmă ar avea consecinţe în mod izolat, aplicându-se separat şi secvenţial: operarea uneia se face independent de alte reguli existente. În schimb, constrângerile laxe nu pot avea implicaţii în mod izolat, independent de altele, fiecare din ele putând fi schimbată de altele. Prin urmare, doar întregul set de constrângeri ar conduce la implicaţii, ceea ce înseamnă că inferenţele trebuie să fie procese cooperative, în mod fundamental nonmonotone, similare proceselor de relaxare în paralel care au loc în sisteme la nivel subsimbolic, după cum evidenţiază Gärdenfors (1994). Autorul mai înainte citat respinge însă ideea lui Smolensky (1988, în Gärdenfors, 1994) că "inferenţele nonmonotone" s-ar realiza la nivel subsimbolic sau subconceptual, pentru că la acest nivel, după părerea lui, nu se produc inferenţe. În concepţia sa, acestea sunt într-adevăr nonmonotone, dar sunt emergente la nivel simbolic.

Concluziile pe care Gärdenfors (1994) le formulează la un nivel teoretic mai general sunt următoarele. În primul rând, el observă că adoptarea a două perspective diferite asupra oricărui tip de dispozitiv computaţional duce la consecinţa că orice atribuire a unei prelucrări simbolice realizate de către un sistem este, de fapt, o interpretare a activităţilor subsimbolice. Paradigma computaţională care se bazează pe modelul maşinii Turing ar neglija această distincţie, pentru că o astfel de maşină este descrisă numai la nivel simbolic. Deoarece computerele, care au fost folosite ca metafore pentru cogniţie, sunt construite pentru a fi "digitale", acestea sunt deosebit de stabile la nivel subsimbolic, nefiind afectate în mod major de perturbaţii, ceea ce maschează efectele acestui nivel. Importanţa sa se facă simţită, însă, atunci când calculatorul are o defecţiune.

În al doilea rând, în concepţia lui Gärdenfors (1994), noţiunea de "computaţie" poate primi două sensuri. Primul ar fi acela care este general recunoscut, corespunzător computaţiilor de la nivel simbolic. Celălalt sens al computaţiei, mai general, apare, însă, atunci când se adoptă o perspectivă subsimbolică (sau, în general, asociaţionistă). El se referă la procesarea unor reprezentări care au o structură diferită de a celor simbolice, ea nesemnificând manipulare de simboluri. Acest lucru nu înseamnă că o astfel de procesare nu poate genera structuri care să poată primi o interpretare cu sens la nivel simbolic. Există însă şi procesări la nivel subsimbolic care nu pot primi o interpretare simbolică, un caz ilustrativ fiind acela al computaţiilor analogice.

În al treilea rând, Gärdenfors (1994) crede că, din confuzia perspectivelor simbolică şi asociaţionistă (dinamică), a putut să apară şi contestarea posibilităţii ca sistemele conexioniste să fie caracterizate prin compoziţionalitate (adică o structură a componentelor care să permită combinaţii) sau sistematicitate (adică sensibilitatea la structura combinatorială a proceselor). Această confuzie ar fi dus la o concepţie greşită cu privire la modul în care informaţia e reprezentată la nivelul unei reţele de tip conexionist (şi, implicit, cum ar putea fi reprezentată la nivelul unui sistem dinamic), crezându-se că conţinutul semantic este atribuit nodurilor unei reţele (ca în varianta ultralocalistă a conexionismului), ceea ce duce la o confundare a planului simbolic cu cel subsimbolic. De fapt, după părerea lui Gärdenfors (1994), informaţia este reprezentată la nivelul unor scheme cognitive care corespund unor paternuri de activitate ale nodurilor unei reţele conexioniste. Definind apoi operaţii elementare asupra schemelor, li se va conferi acestora o structură compoziţională, ceea ce permite componentelor lor să fie relaţionate şi combinate într-un mod sistematic. Cele de mai sus nu înseamnă, după cum accentuează Gärdenfors (1994), că schemele ar avea o structură simbolică explicită, în sensul că ar fi localizabile fizic expresii simbolice care se referă la ele. Productivitatea unui sistem cu astfel de scheme este dată de faptul că o reţea cu un număr finit de noduri este capabilă să reprezinte implicit un număr infinit de scheme cognitive, contrazicându-se astfel teza lui Fodor şi Pylyshyn (1988, cf. Gärdenfors, 1994) că un sistem reprezentaţional productiv (care să fie fizic finit, dar care să poată reprezenta un număr infinit de obiecte) trebuie să fie în mod necesar un sistem simbolic.

În ultimul rând, Gärdenfors (1994) este de acord cu poziţia lui Smolensky (1991, cf. Gärdenfors, 1994) în ceea ce priveşte cauzalitatea proceselor mintale, care s-ar regăsi la nivel subsimbolic şi nu la nivelul simbolic, după cum este postulat de susţinătorii computaţionalismului ortodox. În concepţia acestuia, structurile simbolice emergente nu au eficacitate cauzală. Prin urmare, nici sistematicitatea sistemelor cognitive nu ar fi explicabilă, aşa cum s-a crezut a fi posibil, prin ideea că elementele constitutive ale reprezentărilor mintale, în care acestea pot fi descompuse, joacă un rol cauzal în procesele mintale în care sunt implicate aceste reprezentări. În schimb, efectele sistematice în procesarea reprezentărilor mintale s-ar datora faptului că evoluţia în timp a vectorilor ar fi explicabilă (cel puţin parţial şi aproximativ) în termenii evoluţiei în timp a componentelor lor. Totuşi, ecuaţiile dinamice vor putea fi precizate doar

la nivelele inferioare ale acestor componente, fiind imposibilă o descriere temporală a evoluției procesării la nivelul tuturor componentelor (ceea ce ar însemna că elementele în care sunt descompuşi vectorii nu au eficienţă cauzală). Ca o consecinţă a acestei poziţii, Smolensky (1991, cf. Gärdenfors, 1994) susţine şi că mecanismele subsimbolice de realizare a inferenţelor sunt diferite de cele simbolice, nefiind vorba doar de o simplă implementare a computaţiei simbolice la nivel subsimbolic. Argumentul său este acela că, la nivel subsimbolic, inferenţele se întemeiază pe relaţia parte – întreg, presupunând extragerea părţii din întreg sau completarea părţii pentru a forma un întreg. În schimb, la nivel simbolic, mecanismul inferenţial se bazează pe relaţii sintactice, în care se combină structuri sintactice sau se extrage dintr-o structură sintactică unul sau mai mulţi din constituenţii săi. Natura aproximativă a relaţiei parte-întreg ar conferi computaţiei realizată în sisteme de tip asociaţionist, în opinia autorului mai sus citat, caracteristici globale diferite de cele ale computaţiei sintactice realizate în sistemele simbolice.

Există şi o categorie de abordări dinamice în care accentul nu e unul teoretic, ca în cele de până acum, ci unul empiric. Plecând de la date obţinute în cursul unor investigaţii asupra creierului sau de natură experimentală, ele formulează ipoteze teoretice cu caracter mai general, care ar putea să explice aceste date.

Un prim exemplu ar fi acela al studiilor realizate, printre alţii, de autori ca Molnár şi colaboratorii săi (1999, 1995) sau Babloyantz şi Destexhe (1986) asupra activităţii cerebrale, în diverse contexte, prin intermediul tehnicii calculului dimensiunii corelaţionale pentru seriile temporale generate de înregistrările EEG. Cu ajutorul unei astfel de tehnici, care e un instrument de analiză a datelor legat de TSDN, se pot obţine indicii cu privire la existenţa unei dinamici neliniare într-un sistem alcătuit dintr-un număr mare de elemente şi asupra dimensionalităţii atractorilor unei astfel de dinamici, adică a gradului de complexitate şi a gradului de constrângere existente în sistem.

Astfel, Molnár et al. (1999) arată că, potrivit datelor obţinute în mai multe cercetări, valorile dimensiunii corelaţionale calculate pentru seriile EEG sunt mai mici de 10. Interpretarea pe care o dă unui astfel de rezultat e una de tip dinamic, ca indicând faptul că sistemul nervos ar putea fi modelat ca haos determinist, dat fiind că dimensionalitatea traiectoriilor sistemului cerebral e cu mult mai mică decât dimensionalitatea sistemului dinamic cerebral care ar fi dată de numărul total de

neuroni cerebrali. De aceea, la fel ca şi alţi susţinători ai unei abordări dinamice în psihologia cognitivă, el afirmă că perspectiva neliniară ar fi capabilă să furnizeze "cea mai bună cale disponibilă" pentru a înţelege funcţiile superioare ale creierului, cum sunt cele cognitive.

Calculul dimensiunii corelaţionale a permis evidenţierea unor diferenţe în dinamica creierului în funcţie de starea în care se află şi de activitatea desfăşurată. Rezultatele de până acum au indicat o reducere a dimensionalităţii undelor EEG în starea de somn cu unde lente faţă de starea de veghe (Babloyantz şi Destexhe, 1986; Molnár şi Skinner, 1992, în Molnár et al., 1995), precum şi o reducere a acesteia în stările patologice, cum ar fi crizele epileptice faţă de cele normale (Babloyantz şi Destexhe, 1986; Molnár şi Skinner, 1992, în Molnár et al., 1995). În schimb, în perioadele de efort cognitiv, când, de exemplu, se întâlneşte un stimul nou, dimensionalitatea corelaţională a EEG creşte ca urmare a "încărcăturii cognitive". Comparativ, recunoaşterea unui stimul învăţat duce la o scădere a dimensionalităţii, care s-ar datora creşterii cooperativităţii dintre elementele care generează răspunsul, datorită experienţei anterioare (Molnár et al., 1995). Lutzenberger, Elbert, Ray şi Birbaumer (1993, în Molnár et al., 1995) au demonstrat că dimensionalitatea activităţii electrice scade în acele regiuni cerebrale care devin implicate activ în sarcina care e executată în mod curent. Existenţa unei dinamici de tip haotic neliniar la nivelul activităţii cerebrale a fost pusă în evidenţă şi prin intermediul unei alte tehnici de analiză a seriilor temporale, numită analiza fluctuaţiei reduse (în engleză: "detrended fluctation analysis). De exemplu, Watters (1998) arată că datele obţinute de el indică o generare a undelor EEG printr-un proces dinamic fractal, prezentând corelaţii temporale pe distanţe mari, ceea ce corespunde unui spectru de putere de tip *1/f*, tipic pentru sistemele care se autoorganizează, aflate la limita haosului.

Comentând datele empirice asupra activităţii haotice a creierului, cum sunt şi cele de mai sus, Cosmelli et al. (2007) consideră că ele nu sunt încă decisive, justificându-se astfel o atitudine mai precaută şi mai lucidă. Limitările impuse actualmente în ceea ce priveşte măsurarea activităţii creierului, cum ar fi şi aceea că comportamentul său nu poate fi observat direct în spaţiul stare real, ci sunt accesibile doar un set limitat de măsurători, mai degrabă rudimentare şi aproximative (cum este şi EEG), nu permit distincţia între haosul determinist şi procesele pur stocastice. Totuşi, după părerea autorilor citaţi, dezbaterea legată de natura haotică a creierului este importantă pentru că a adus o schimbare de optică asupra

activității cerebrale, cu un accent mai mare pe neurodinamică. Acest lucru a permis și reinterpretarea variabilității activității neuronale, trecându-se de la perspectiva tradițională, în care era privită ca fiind "un zgomot fără sens", la aceea potrivit căreia ea ar putea fi considerată o parte integrantă a dinamicii sistemului nervos. Din aceeași schimbare de perspectivă face parte și modul în care este conceput răspunsul creierului la stimularea senzorială. Acesta nu mai e văzut ca fiind unul în care stimularea senzorială declanșează, pur și simplu, "un lanț de operații neuronale sistematic, prespecificat", care este independent de activitatea curentă a creierului, asemănător algoritmului unui calculator. În schimb, într-o abordare dinamică a activității neuronale, răspunsul creierului la stimularea senzorială este dependent de starea de activitate a creierului care precedă stimularea, presupunând integrarea activă a perturbației stimulului în dinamica cerebrală generală.

Realizând studii experimentale în care a urmărit capacitatea participanților de a anticipa comportamentul unui sistem dinamic neliniar, Metzger (1995) a obținut date care au determinat-o să ajungă la câteva concluzii cu privire la natura dinamică a sistemului cognitiv. În demersul său, a plecat de la propunerea unui model al cogniției care să țină seama de faptul că procesele naturale sunt sisteme dinamice neliniare. Autoarea mai sus citată a solicitat participanților să prezică ce valori vor urma într-o serie temporală care provenea de la un sistem dinamic neliniar cu un comportament haotic, după care li se furniza feedback cu privire la corectitudinea predicției lor. Ea a constat că participanții foloseau o serie de strategii în realizarea predicțiilor, că acestea prezintă o dinamică pe măsură ce seria temporală progresează și că există diferențe individuale în capacitatea participanților de a învăța să prezică o dinamică neliniară. În interpretarea acestor rezultate, Metzger (1995) pornește de la constatarea că neliniaritatea proceselor naturale limitează posibilitățile de predicție ale unui comportament în viitorul cel mai apropiat, pentru că în sistemele neliniare nu se pot realiza predicții pe termen lung. De aceea, autoarea citată apreciază că nu e util pentru predicție să se dispună de mai mult de aproximativ șapte observații. În consecință, datorită limitării posibilităților de anticipare a evenimentelor naturale, și prelucrarea informației va fi limitată, dat fiind că e inutil să se prelucreze mai multă informație decât cea necesară, surplusul neaducând nici un beneficiu în capacitatea de predicție. O altă presupunere pe care o face Metzger (1995) e aceea că principala sarcină a sistemului cognitiv e predicția, iar eroarea în predicție

ar fi cea mai importantă sursă a schimbării în sistem (şi nu recompensa). Următorul pas al argumentării lui Metzger (1995) este acela în care susţine că dacă scopul unui sistem cognitiv este să anticipeze comportamentul sistemelor dinamice naturale a căror structură nu o cunoaşte, atunci e posibil ca şi sistemul cognitiv să poată realiza acest lucru numai dacă el însuşi este un sistem dinamic, pe care autoarea îl numeşte un sistem al modelelor multiproces. Multiplele strategii cognitive folosite de participanţi în cursul sarcinii de predicţie şi dinamica lor i-au sugerat autoarei ideea că acestea reprezintă paternurile comportamentale corespunzătoare structurilor atractoare ale unei dinamici cognitive. Aceste paternuri comportamentale sau procese multiple se află în competiţie, la fel cum se întâmplă cu structurile atractoare ale unor sisteme dinamice. Comutarea între strategii, între structurile atractoare ale dinamicii cognitive, dinamica lor s-ar explica, în viziunea autoarei citate, ca datorându-se, în principal, unui parametru de control dat de eroarea în predicţie.

Remarca generală care s-ar putea face cu privire la modelele dinamice existente pentru sistemul cognitiv este aceea că ele încă nu au o structură foarte elaborată şi că nu s-au făcut suficiente eforturi pentru a le evalua experimental. Totuşi, limitele lor prezente nu ar trebuie să fie invocate ca motiv pentru a fi ignorate sau excluse prematur, înainte de a fi explorate posibilităţile lor de dezvoltare, mai ales că şi modelele cu care se află în competiţie au şi ele limite, chiar dacă de o altă natură. Faţă de modelele clasice de tip computaţionalist simbolic, ele se diferenţiază printr-o altă viziune asupra fenomenului cunoaşterii. Este de observat că, în explicarea acesteia, modelele tradiţionale formal-simbolice s-au confruntat cu acelaşi paradox cu care s-au confruntat şi unii filosofi greci. Discutând problema posibilităţii de a cunoaşte ceva nou, eleaţii au remarcat că dacă se posedă deja lucrul cunoscut, atunci nu mai e vorba de cunoaştere, iar dacă el nu e posedat, adică nu e cunoscut, atunci nu există vreo cale de a-l cunoaşte (după Noica, 1940/1995). Tot astfel, o gândire de tip simbolic, combinatorială, nu ar fi capabilă să cunoască ceva care e esenţialmente nou. Orice structură simbolică generată prin operarea asupra unor simboluri primitive era dinainte dată ca o posibilitate combinatorială a sistemului formal-simbolic şi e perfect explicabilă pe baza elementelor componente ale acestuia. Prin urmare, ea era dinainte cunoscută şi nu mai poate fi vorba de cunoaştere. În schimb, orice fenomen care nu are o reprezentare simbolică în cadrul unui sistem formal-simbolic nu va putea fi cunoscut. Sursele acestui paradox ar fi o

interpretare statică a cunoaşterii, ca fiind încorporată în entităţi constante în timp, şi separarea subiectului cunoscător de obiectul cunoscut. Este posibil să se dea numeroase interpretări procesului de cunoaştere, cum ar fi, de exemplu, aceea de reactualizare, de integrare, de transformare structurală, sau toate la un loc etc. Dar, indiferent de interpretare, fiecare din ele presupune că trebuie să existe o parte comună a subiectului cunoscător şi a obiectului cunoscut pentru a fi posibilă cunoaşterea. În modelele formal-simbolice, partea comună preexistă în subiectul cunoscător, chiar dacă într-o formă implicită, de unde şi apariţia paradoxului menţionat mai sus. În schimb, într-un model de tip dinamic, partea comună emerge în mod continuu din interacţiunea subiectului cunoscător cu obiectul cunoscut, care sunt, ambele, sisteme dinamice cuplate într-un sistem dinamic complex, capabil de autoorganizare. Această parte comună nu preexistă nici în mediu, nici în subiectul cunoscător, şi nu poate fi dedusă, anticipată, din proprietăţile niciuneia din cele două părţi aflate în interacţiune. De aceea, cunoaşterea, într-o interpretare dinamică, ar însemna emergenţa unei părţii comune prin interacţiunea dintre subiect şi obiect.

Interpretarea dinamică a proceselor de memorie şi a reprezentărilor mintale

Se poate presupune că principalul obstacol în acceptarea unei abordări dinamice a proceselor de memorie este o "prejudecată", bazată pe o analogie pe care oamenii sunt obişnuiţi să o facă între modul de operare a psihicului şi modul lor de operare cu obiectele din lumea fizică. Pentru a păstra un obiect el trebuie pus într-un depozit special, care să îl ferească de degradare, în care îi este destinată o locaţie specială. Pentru a fi mai uşor regăsit, el şi celelalte obiecte din depozit vor fi aşezate într-o anumită ordine a locaţiilor lor. În plus, pentru a putea fi pus într-o locaţie şi ordonat, el va trebui să fie clar delimitat, localizabil spaţial, static, pasiv. La fel, se crede că, pentru informaţia memorată, ar trebui să fie valabil acelaşi procedeu, ea trebuind să respecte aceleaşi condiţii ca şi obiectul depozitat.

Însă o abordare dinamică a proceselor de memorie se bazează pe un alt tip de analogii. În cadrul ei, o informaţie se va considera a fi fost memorată într-un sistem dinamic în măsura în care ea va determina schimbarea paternului interacţiunilor dinamice ale acestuia cu alte sisteme

în viitor. Nu e necesar ca această informație să fie încorporată ca un alt element al sistemului sau ca o altă stare posibilă a sa, adică într-o formă localizabilă spațial, ci ea va fi încorporată la nivelul dinamicii acestuia, a formei traiectoriilor în timp pe care sistemul dinamic le are în spațiul stare. Una dintre analogiile posibile din lumea fizică corespunzând unei astfel de viziuni ar fi aceea a modului în care informația conținută în forma unei pietre din albia unui râu poate fi "memorată", la nivelul apei, prin schimbarea cursului ei sau crearea unui vârtej cu o anumită formă. Acest lucru înseamnă o modificare a dinamicii, nu a compoziției sale, ea continuând să conțină aceleași molecule de apă ca și înainte. Modul exact în care se va schimba curgerea sa, durata și extensia schimbării vor depinde nu doar de forma, prezența și poziția pietrei, ci și de caracteristicile dinamicii apei, de calitățile sale de lichid (cum ar fi vâscozitatea, dată de tăria legăturilor dintre moleculele sale). Vârtejurile, modificările în curgerea apei sunt văzute ca forme dinamice, active, pentru că se propagă sau ajung să intre în interacțiune cu alte forme dinamice create în același mod, fuzionând cu ele, înglobându-le sau fiind înglobate de ele. Prin urmare, informația stocată la nivel dinamic va fi activă în mod continuu.

În cele ce urmează, vor fi prezentate câteva din studiile din literatura de specialitate care sprijină sau ar putea să sprijine o astfel de viziune dinamică asupra proceselor de memorie, unele din ele întemeindu-și afirmațiile teoretice pe rezultatele unor studii empirice. În secțiunea de față s-au ales acele contribuții care au avut în prim plan, în mod explicit, problematica memoriei și a învățării. Însă aspecte relevante pentru o interpretare dinamică a memoriei se pot regăsi în aproape toate modelele prezentate în secțiunea anterioară și, de asemenea, în multe din cele care vor urma.

Se va începe cu acele *modelări dinamice ale memoriei care își au originea în cercetările de tip conexionist.* După cum menționează Eiser (1994), Hopfield e considerat a fi primul autor care a legat conceptul de atractor de problema memoriei cu conținut adresabil, adică a așa numitei memorii asociative. La începutul anilor '80 ai secolului trecut, el a construit un tip special de rețele neuronale recurente, care azi se numesc rețele Hopfield, prin care fiecare patern de input este asociat unei clase de paternuri (van Gelder și Port, 1995). Apreciate ca fiind sisteme dinamice care au stări stabile, comportamentul lor a primit o interpretare dinamică. Astfel, după cum menționează van Gelder și Port (1995), itemii stocați au

fost socotiți ca atractori de tip punct fix în spațiul fază al rețelei. Evocarea și recunoașterea unui item ar fi, în acest caz, o problemă de stabilizare a sistemului dinamic al rețelei în atractorul corespunzător acestuia. În cadrul unor astfel de rețele e posibilă și evocarea unei reprezentări din memorie pe baza unui indiciu parțial, acest proces fiind comparat cu trecerea unui sistem dinamic din bazinul de atracție al unui atractor către atractor (Eiser, 1994).

Prezentând concepția lui Hopfield, Eiser (1994) specifică faptul că pentru a exista discriminare între două sau mai multe reprezentări, va fi nevoie ca spațiul fază să conțină mai mulți atractori, câte unul pentru fiecare reprezentare. Atunci, sistemul va discrimina între condițiile inițiale prin atractorii diferiți către care se va îndrepta când aceste condiții inițiale vor fi date ca puncte de plecare pentru el. Prin urmare, orice spațiu fază a cărui dinamică e dominată de un număr crescut de atractori ar putea fi privit ca o memorie generală cu un conținut adresabil, de tip asociativ.

Rețelele Hopfield, neliniare, care au atractori, se deosebesc de rețelele neuronale care presupun o asociere liniară (Luger, Johnson, Stern, Newman, Yeo, 1994). Deși ele au constituit un pas înainte în ceea ce privește modelările conexioniste ale memoriei, au, totuși, performanțe limitate. De aceea, o serie de autori au propus și alte tipuri de rețele. De exemplu, în viziunea lui Oaksford și Malloch (1994), rețelele care prezintă atractori ciclici ar fi mai potrivite pentru a modela reprezentări de memorie complexe, iar tranzițiile dintre astfel de atractori ciclici ar fi interpretabile ca tranziții între reprezentări de memorie. Tipuri noi de rețele, care au implicații pentru modelarea memoriei asociative, au propus și Elman (1995), după cum se va remarca într-o secțiune ulterioară, și, așa cum s-a văzut mai sus, Tsuda (2001), care susține ideea unor rețele cu două dinamici: una de tip divergent, prezentând itinerantă haotică, de "citire" a informației, și alta de tip convergent, cu un atractor similar mulțimii lui Cantor, în care să se facă stocarea informației. Procesul de codificare a informației s-ar desfășura prin cuplarea sistemului haotic cu cel care evoluează înspre atractorul stabil. Tot o rețea cu două dinamici (una rapidă și alta lentă) propune și Pallbo (1993), cu scopul de a simula memoria pe termen scurt și pe cea pe termen lung. În concepția sa, pentru aceasta ar fi nevoie ca parametrii conexiunilor dintre neuroni care sunt influențați de învățare să fie de două tipuri. Parametrii din primul tip ar fi schimbați pe termen scurt, crescând mai mult cu fiecare ocazie, dar și scăzând mai repede, față de cei din celălalt tip, care suferă modificări pe

termen lung, crescând mai puțin, dar și scăzând mai lent. În acest fel, rețeaua ar fi capabilă să fie puternic schimbată de activitatea recentă, fără să uite însă ceea ce a învățat pe o perioadă de timp mai lungă.

Un exemplu al modului în care rețelele cu memorie asociativă pot fi folosite pentru a modela un fenomen de memorie particular este oferit de Haken (1995a), care a construit o astfel de rețea, capabilă să memoreze și să recunoască paternuri perceptuale cum sunt fețele umane. Pentru a descrie dinamica unei astfel de rețele, autorul citat apelează la analogia mișcării unei mingi pe un sol denivelat, care are un relief alcătuit din gropi, văi și ridicături. Haken (1995a) compară recunoașterea unui patern cu ajungerea mingii pe fundul unei gropi (adică atractorul în care se stabilizează rețeaua), iar perceperea unui patern incomplet, care nu e încă unul cunoscut, este apreciată de el ca similară situației în care o minge, aflată pe o pantă a reliefului, va fi atrasă către cea mai apropiată vale. Pentru a susține această analogie, el afirmă că e necesar să se considere că procesul de recunoaștere a paternurilor nu e altceva decât un proces de formare a acestora. Un patern complet poate fi descris printr-un vector de input, iar un patern incomplet printr-un vector de același tip, dar cu dimensionalitate mai redusă. Recunoașterea unui patern ar însemna construirea unei dinamici care să permită ca, în timp, vectorul unui patern incomplet să se dezvolte și să ajungă să coincidă cu un vector corespunzător unui patern prototip stocat în memorie ca reprezentând vectorul paternului complet. Fiecare patern este guvernat de un parametru de ordine, care ar reprezenta "ideea paternului". Simulările făcute pe o astfel de rețea neuronală pe baza ecuației dinamice specificate de Haken (1995a) au permis o rată de recunoaștere de 80% a unor fețe umane. În ecuația dinamică folosită de acest autor, atenția joacă rolul unui parametru de control. Acest parametru de control are propria sa dinamică, care descrie procesul de saturație, adică el scade pe măsură ce parametrul de ordine corespunzător unui patern crește. Cu alte cuvinte, pe măsură ce un patern dintr-o scenă este recunoscut, atenția pentru el scade și, simultan, crește atenția pentru alte paternuri prezente. De exemplu, pentru recunoașterea unei fețe, se pot da doar câteva indicii, cum ar fi nasul și ochii, ceea ce ar reprezenta un patern inițial incomplet. Parametrul de ordine corespunzător paternului acestei fețe concurează cu alți parametri de ordine și, dacă el câștigă competiția, va permite suplimentarea trăsăturilor date cu alte trăsături care vor completa întreg paternul. Haken (1995a) evidențiază și o relație între mărimea biasării (distorsionării) în

favoarea unui patern (dată de frecvența cu care e recunoscut într-un grup de paternuri) și durata perioadei în care el este recunoscut. El a demonstrat matematic și experimental că timpul în care este recunoscut un astfel de patern crește odată cu mărimea biasării.

Un alt exemplu de modelare a procesului de recunoaștere a paternurilor prin rețele neuronale al căror comportament e interpretat dinamic este acela al modelului numit Lexin. El a fost elaborat de Port, McAuley și Anderson (1996, în van Gelder, 2000) pentru a recunoaște paternurile auditive, care, față de cele vizuale, implică și o secvențialitate în timp. Rezultatele analizei comportamentului unei astfel de rețele au evidențiat faptul că dacă inputurile corespund anumitor segmente ale paternului auditiv, traiectoria sistemului dinamic al rețelei va reflecta nu doar dinamica sa intrinsecă, ci și structurile distincte ale paternului auditiv. Anumite frecvențe ale inputului vor determina fixarea unor parametri care duc la stabilizarea sistemului în atractori de tip punct fix unici. Când frecvența se schimbă după anumite secvențe, sistemul se bifurcă și traiectoria sa va fi fixată de o secvență de bifurcații, ceea ce autorii citați numesc "înlănțuire de atractori", schimbările sale fiind comparate cu cele ale unui drapel fluturat de vânt.

Relevanță în ceea ce privește o abordare dinamică a proceselor de memorie o au și acele modele conexioniste construite cu intenția de a simula modul în care poate fi reprezentată informația dinamică. Exemple ilustrative sunt acelea ale modelelor realizate de Vuong (2005), Wallis (1998, în Vuong, 2005), Földiák (1991) sau Miyashita (1988, 2005, în Vuong, 2005). În cadrul lor, s-a încercat modelarea proceselor prin care sistemul vizual combină informația curentă cu informația din momente de timp anterioare, adică modul în care integrează aspectele temporale ale inputului senzorial (Vuong, 2005). Ele s-au bazat pe combinarea informației temporale din mai multe momente de timp prin calculul unei medii ponderate. De exemplu, Miyashita (1988, în Vuong, 2005) sugerează că în cursul învățării unor obiecte, ponderile sinapselor la nivel neuronal sunt modificate pe baza unei medii ponderate nu doar a inputului curent și a activității neuronale curente, ci și pe baza activităților neuronale anterioare. Acest lucru înseamnă o modificare a regulii hebbiene standard de învățare într-o rețea neuronală, pentru a putea incorpora aspectele temporale ale unei secvențe de perspective asupra unui stimul. Földiák (1994, în Vuong, 2005) propune o așa numită regulă a urmei, potrivit căreia, activarea unui neuron la un moment dat t e o medie ponderată a inputului

său curent şi o medie ponderată a activărilor anterioare. O astfel de regulă ar permite separarea unor stimulări care sunt similare, dar reprezintă perspective asupra unor obiecte deosebite, pe baza distanţei lor temporale şi, în acelaşi timp, ar permite asocierea unor stimulări diferite, dar care reprezintă perspective asupra aceluiaşi obiect, pe baza apropierii lor temporale (Wallis, 1998, în Vuong, 2005). Deşi autorii acestor tipuri de reţele neuronale artificiale nu fac vreo referire directă la o interpretare dinamică a design-ului lor, e posibil ca luarea în considerare a activităţii neuronale anterioare din reţea să fie văzută ca reprezentând introducerea unei dinamici intrinseci a reţelei. Această dinamică va interacţiona apoi, prin cuplare, cu dinamica stimulilor prezentaţi, putându-se astfel modifica, prin bifurcaţii, în funcţie de ea.

Există şi *teoretizări prin prisma TSDN ale proceselor de memorie* care nu au legătură directă cu simulări ale acestora în cadrul unor reţele neuronale artificiale de tip conexionist. La modul cel mai general, Arbib (1995) vede învăţarea, memorarea, ca pe o schimbare a legii dinamice, a funcţiei tranziţiei de stare a unui sistem dinamic. La fel, şi Smith şi Thelen (1993) interpretează învăţarea ca o schimbare a portretului fază al unui sistem dinamic psihic, ceea ce echivalează cu schimbarea dinamicii acestuia. Dacă experienţa prin care trece un individ se repetă, anumite regiuni ale spaţiului fază vor fi vizitate mai des decât altele, putându-se, astfel, modifica forma spaţiului fază şi punctele de stabilitate şi instabilitate. Potrivit teoriei autorilor citaţi, cu cât o anumită regiune a spaţiului fază e vizitată mai des, cu atât devine mai stabilă şi mai puţin perturbabilă.

Pentru a ilustra acest proces, consider că ar fi utile următoarele analogii. Când, întâmplător, mai multe picături de ploaie vor cădea pe sol într-o anumită regiune faţă de regiunile învecinate, se va crea o adâncitură în acea regiune. Apoi, în continuare, această adâncitură va tinde să atragă către ea picăturile de ploaie care vor cădea în apropierea sa, pe panta din jurul adânciturii şi, în timp, bazinul adânciturii create iniţial va începe să se lărgească şi să se adâncească progresiv, atrăgând şi acumulând din ce în ce mai mult din apa picăturilor de ploaie care cad în zonă. Adâncitura poate fi asemănată cu o regiune atractoare, iar bazinul de acumulare format, cu bazinul de atracţie al unui atractor dintr-un spaţiu stare. La fel, se ştie că în pădure se formează poteci de către animale, adică trasee bătătorite. E suficient ca, iniţial, un număr mic de animale să treacă prin aceeaşi zonă, modificând solul, pentru ca alte animale să tindă să folosească cărările care sunt deja bătătorite, bătătorindu-le şi mai mult. Locurile care sunt mai umblate ar fi, în acest fel, echivalate cu nişte

atractori, care prin interacțiunea cu mediul tind să își schimbe progresiv capacitatea de atracție și, astfel, stabilitatea. În aceste două analogii, solul joacă rolul spațiului stare al unui sistem, iar picăturile de ploaie sau drumurile unor animale cel al paternurilor de input, al stărilor inițiale în care e plasat sistemul. Inițial, solul este perfect plat, nepermițând o dinamică pe suprafața sa, la fel cum poate fi și spațiul stare al unui sistem. Dar, prin interacțiunea cu o dinamică externă (căderea picăturilor de ploaie, pașii animalelor), el va dobândi, treptat, o dinamică proprie, dată de constituirea unui relief, care va interacționa, în continuare, cu dinamicile exterioare, remodelându-se mereu.

Conceptualizând memoria într-un cadru asemănător celui descris mai sus, adică al schimbării dinamicii unor sisteme dinamice complexe, capabile de autoorganizare, Gonzales, Broens și Del-Masso (n. d.) fac o propunere suplimentară. Ei cred că ar trebui să se renunțe complet la noțiunea de reprezentare de memorie, care e văzută ca o entitate pasivă, procesele mnezice fiind mai bine și mai ecologic descrise prin noțiunea de stare dispozițională, adică o stare cu proprietăți cauzale, activă, cum sunt și stările atractoare. Un sistem dinamic își poate "aminti" condițiile, stările inițiale care conduc la o astfel de stare.

La rândul său, Abraham (1996) arată că, deși încă nimeni nu a specificat exact un anumit atractor pentru o reprezentare de memorie dată sau nu a stabilit măsura în care atractorii trebuie să difere pentru ca să existe o discriminabilitate între niște stimuli memorați, ipoteza stocării informației în memorie prin atractori, care în concepția sa pot fi și haotici, ar avea susținere apelând la un argument teoretic formulat de Skinner et al. (1990, în Abraham, 1996). Conform acestora, dacă prin procese dinamice haotice se realizează o compresie a datelor, iar stocarea informației presupune o astfel de compresie și nu o engramă specifică, atunci e posibil ca, în creier, memorarea să se facă printr-un proces haotic. Bazându-se pe acest raționament și pe datele obținute de alți autori legate de activitatea de tip haotic a creierului, cum ar fi, de exemplu, cele ale lui Skarda și Freeman (1987), Abraham (1996) sugerează câteva posibilități pentru un astfel de proces de memorare printr-o dinamică haotică. Astfel, el susține că procesele de stocare și de regăsire din memorie ar fi realizate fie prin bifurcații subtile (care presupun o schimbare graduală a structurii spațiului fază), fie catastrofice (o schimbare radicală, calitativă, a spațiului fază) cu trăsături plozive, adică atractorul e brusc diminuat, ca într-o implozie, sau brusc mărit, ca într-o explozie. După părerea sa, un proces

mintal ar putea fi interpretat ca un atractor haotic, iar atunci când iese din conştiinţă, el este "împachetat" până la o nouă evocare, continuând să existe ca un proces dinamic în curs, dar într-o formă mult redusă, care solicită o cheltuială energetică mai scăzută, ceea ce ar corespunde unei bifurcaţii implozive sau cu trăsături implozive. Ca urmare, este posibil ca mai mulţi atractori mintali să fie activi simultan, chiar şi cei "miniaturizaţi" având un rol, prin comunicarea continuă dintre ei, autorul mai sus menţionat făcând o asociere, în acest sens, cu activarea subliminală. La reactivarea atractorului "memorat" ar avea loc o "despachetare", o bifurcaţie explozivă, prin care el creşte brusc ca dimensiune, realizată cu cheltuială energetică. În plus, ar fi nevoie de efort conştient pentru apariţia bifurcaţiilor de creştere, care modifică portretul fază. Într-o astfel de viziune, gradul de conştientizare şi de reactivare a informaţiei din memorie e continuu, depinzând de extensia regiunilor neuronale antrenate, ceea ce nu împiedică apariţia unor modificări discontinue de conştiinţă, care s-ar datora unor bifurcaţii de tip catastrofic ale sistemelor dinamice neliniare de la nivel cerebral.

Cele câteva teoretizări prezentate până acum s-au referit doar la problemele stocării pasive a informaţiei în memorie, a recunoaşterii sau evocării ei pe baza unui indiciu dat, dar nu şi la cele, mult mai dificile, a căutării active în memorie, a controlului proceselor de memorie, a învăţării intenţionate. Abraham (1996) este printre puţinii autori care face câteva sugestii speculative în această direcţie. În concepţia sa, sistemul psihic ar trebui să înveţe, în cadrul unui proces de autoorganizare, navigarea într-un spaţiu de control multidimensional al propriei dinamici, prin formarea unor reprezentări ale diagramei bifurcaţiilor prin care poate trece. La fel, pentru a învăţa un comportament, controlul său, nu va fi suficient ca sistemul să se stabilizeze într-un atractor, aşa cum se întâmplă în cazul memorării unor stimuli, ci va fi necesar un proces similar de autoorganizare. El ar presupune învăţarea unor parametri de control relevanţi pentru sistemul dinamic corespunzător comportamentului învăţat. Valorile lor vor trebui, ulterior, controlate, astfel încât sistemul să treacă prin bifurcaţiile care îl vor conduce spre acele regiuni atractoare sau portrete fază care sunt necesare pentru realizarea comportamentului. Potrivit lui Abraham (1996), învăţarea acestor parametri de control s-ar face prin observarea la alte persoane a patternurilor stabile ale comportamentului de învăţat şi a valorilor corespunzătoare ale parametrilor de control. Preocupându-se şi el de problema căutării active în memorie, Combs (1995) sugerează că această căutare ar fi controlabilă prin

intermediul unui proces haotic, pentru că el poate împiedica fixarea rapidă a sistemului în primul atractor pe care îl întâlneşte, înainte de a ajunge la atractorul corespunzător informaţiei căutate. După cum se va vedea mai jos, el se plasează, astfel, pe o poziţie asemănătoare cu aceea susţinută de Skarda şi Freeman (1987). O alternativă la controlul prin intermediul haosului sau a zgomotului este aceea a căutării prin itineranţă haotică, propusă de Tsuda (2001). Aşa cum s-a menţionat mai sus, în acest caz, cantonarea sistemului într-o anumită regiune este împiedicată prin existenţa în regiunile atractoare a unor direcţii destabilizatoare prin care se poate ajunge, la cea mai mică perturbaţie, la atractori învecinaţi. Sistemele în care apare itineranţa haotică ar oferi o cale mai eficientă de căutare a informaţiei în memorie decât cea aleatorie sau prin "călire simulată" (în engleză, "simulated annealing"), pentru că ea permite apariţia unor reguli de legare a orbitelor între ele, ceea ce ar corespunde apariţiei unor relaţii cauzale între amintiri. Amintirile cele mai apropiate vor fi astfel legate cu o probabilitate mai mare prin procesul itinerant.

O teorie mai amplă asupra interpretării dinamice a memoriei, în care se regăsesc şi câteva din ideile altor autori citaţi, este cea elaborată de van Gelder (2000), cel care a formulat ceea ce el a numit "ipoteza dinamică în psihologie". El arată că pentru memorarea şi recunoaşterea paternurilor e nevoie ca un sistem dinamic psihic să ajungă într-o anumită stare doar atunci când un patern familiar este prezentat şi numai atunci. Cu alte cuvinte, ar trebui să existe ceea ce el numeşte o "regiune a recunoaşterii" în spaţiul stare, prin care sistemul dinamic trece doar dacă paternul e unul recunoscut. Astfel, un patern familiar ar fi ca şi o cheie care se "combină cu sistemul pentru a deschide uşa recunoaşterii". Forma traiectoriei sistemului ar fi atunci o combinaţie a unor tendinţe comportamentale intrinseci, datorate dinamicii sistemului, şi a unor influenţe exterioare. Inputurile externe acţionează ca parametri care influenţează modul în care sistemul îşi va schimba stările, împingându-l într-o direcţie sau alta. Merită precizat aici că, probabil, van Gelder (2000) s-a gândit că inputurile exterioare ar juca un dublu rol. Fie de parametri de control care schimbă dinamica unui sistem psihic, fie de forţe externe prin care sistemul este mutat în alte condiţii iniţiale, din care va putea evolua spre altă regiune atractoare decât cea spre care se îndrepta înainte. Van Gelder (2000) speculează că prin locaţia stării curente în spaţiul fază se realizează stocarea, memorarea, deopotrivă a trecutului (cu alte cuvinte a căii străbătute de sistem până atunci), cât şi a viitorului previzibil (calea pe care o va urma). Pe de altă parte, el semnalează că o proprietate a unui

sistem dinamic este aceea de a atenua, pe termen lung, efectul influenţelor exterioare, ceea ce face ca timpul de stocare să fie finit. Astfel, cu cât sistemul este mai puternic influenţat de inputuri curente, cu atât mai puţin se va putea distinge influenţa inputurilor trecute asupra stării curente.

Van Gelder (2000) ţine să precizeze că ceea ce el consideră a fi memorare nu înseamnă că există un act mintal separat, o imagine sau un ecou care ar permite păstrarea unei stări trecute a unui obiect, a unei percepţii, în sens substanţial, ci memorarea e directă, adică un efect imediat al evoluţiei unui sistem dinamic psihic. La fel, şi anticiparea viitorului e directă şi nu ar avea caracter perceptual, ca formare a unei imagini viitoare. Se remarcă faptul că interpretarea dinamică a proceselor de memorie propusă de van Gleder (2000) are o deschidere mai mare ca altele, el evitând să specifice care este natura acelei "regiuni a recunoaşterii" din spaţiul stare, lăsând posibilitatea ca ea să fie şi de alt tip decât un atractor, în sensul clasic. Tsuda (2001) a explorat o astfel de posibilitate, încercând să distingă cele mai importante tipuri de memorie din psihologia cognitivă actuală pe baza unor criterii dinamice. În concepţia sa, memoria de lucru este dinamică şi reprezentările din memoria de lucru pot fi uşor destabilizate în spaţiul stare. În schimb, este posibil ca reprezentările memoriei episodice să fie stabilizate în spaţiul stare, dar numai prin asociaţie cu procese cognitive dinamice. Singurul tip de reprezentare din memorie care ar putea fi descris ca fiind o entitate stabilă ar fi, în concepţia sa, reprezentarea semantică. În plus, el susţine că, atunci când dinamica memoriei ar fi conceptualizată în termenii atractorilor Milnor şi a ruinelor lor (adică nişte atractori atipici, care au direcţii în care sistemul este instabil, permiţând apariţia fenomenului itineranţei haotice), nu se mai poate susţine că informaţia este stocată ca stare, ci ca un proces, corespunzând, în general, unui atractor Milnor, ea fiind evocată prin procese de tranziţie între procese.

Un studiu complex, din perspectiva TSDN, al memoriei, care îmbină deopotrivă cercetarea la nivel neurologic şi teoretizarea, este acela realizat de Skarda şi Freeman (1987). Cei doi autori au întreprins o serie de investigaţii ale modului în care se activează neuronii din bulbul olfactiv al pisicilor în funcţie de diferite tipuri de mirosuri, căutând, astfel, modalitatea de reprezentare şi memorare a informaţiei senzoriale de tip olfactiv. Foarte pe scurt, ei au interpretat rezultatele pe care le-au obţinut în sensul că amintirea activată a unui miros poate fi modelată ca un atractor periodic, ciclic, dar atractorul stocat este haotic. Într-o descriere

mai elaborată, Uhr şi Honavar (1994) precizează că aceste rezultate ar indica faptul că, în stare de repaus, bulbul olfactiv e caracterizat de un atractor într-un spaţiu n-dimensional care are ca aripi atractori haotici, care se adaugă mereu, pe măsură ce noi clase senzoriale sunt învăţate. Bazinul de atracţie al atractorului ciclic e modelat de inputul receptorilor, iar forma acestui atractor e dată de paternul modulării spaţiale a amplitudinii outputului sistemului neuronal.

Potrivit lui Skarda şi Freeman (1987), procesul de recunoaştere a unui miros decurge în felul următor. Prin inhalare, emerg în bulbul olfactiv colecţii de atractori de tip ciclu limită pentru mirosuri învăţate, selectându-se unul dintre ele prin mirosul stimul, care plasează sistemul în bazinul său de atracţie. În cazul nerecunoaşterii, răspunsul poate cădea în bazinul unui atractor haotic care apare, de cele mai multe ori, pentru mirosurile noi. La exhalare, atractorii învăţaţi dispar, sistemul fiind eliberat pentru a putea accepta noi atractori. Amplitudinile locale ale oscilaţiei datorate atractorului ciclic iau valori care sunt legate în mod reproductibil de anumite mirosuri care servesc ca stimuli condiţionaţi. Va exista câte un atractor ciclic pentru fiecare miros discriminat prin învăţare. Selecţia unui atractor la inspirare se poate face nu doar prin prezenţa unei anumite substanţe mirositoare, ci şi prin absenţa vreunei substanţe odorante, în acest caz, selectându-se atractorul corespunzător mirosului de fond. Atractorul haotic caracteristic stării de repaus, de absenţă a unei stimulări speciale, permite accesul rapid şi nedistorsionat, la o nouă inhalare, la fiecare ciclu limită. În acest fel, va fi disponibil întreg repertoriul de discriminări învăţate printr-un acces instantaneu, ceea ce înseamnă că, de fapt, în procesul recunoaşterii, nu are loc o căutare într-un depozit de memorie. Căderea într-un atractor haotic de nivel superior pentru stimulii noi permite ca, prin prezentarea lor repetată, mirosul să devină un stimul condiţionat şi, astfel, să se formeze un nou atractor ciclic, caracteristic noului miros. În acest caz, atractorul haotic face posibilă clasificarea rapidă a stimulului ca nou, la fel de repede ca şi recunoaşterea unui miros învăţat. Sistemul îşi păstrează capacitatea de a menţine o activitate nestructurată până la construirea noului atractor care corespunde mirosului necunoscut întâlnit. Prin teoria lor, Skarda şi Freeman (1987) oferă o valorizare pozitivă zgomotului, ei considerând că un atractor haotic asigură o sursă stabilă şi controlată de zgomot. La apariţia unui semnal, acest tip de zgomot nu va interfera cu semnalul, ca în cazul zgomotului clasic, ci va fi pur şi simplu "închis", anulat, prin

comutarea pe regimul dinamic ciclic. Autorii citați recunosc că modelul lor e valabil pentru cogniția preatentivă și apercepția instantanee a unui stimul. Totuși, extinderea sa pentru procesele atenționale, pentru activitatea neocortexului, ar fi posibilă, dat fiind că există date care evidențiază dinamici similare la nivelul cortexului vizual la maimuțe (Freeman și van Dijk, 1987, în Skarda și Freeman, 1997; Myiashita, 1988, în Vuong, 2005).

Concluzia lui Skarda și Freeman (1987) este că ideea de bază a modelului lor este aceea că procesul de discriminare a mirosurilor și recunoașterea lor depinde de procesele dinamice de autoorganizare neuronală din bulbul olfactiv. Acest lucru înseamnă, în opinia lor, că procesul în cauză e conceput în termenii interacțiunii dinamice la nivelul structurilor neuronale, fără a se face apel la simboluri. La baza învățării unui miros stă constituirea unui ansamblu de celule neuronale care sunt legate reciproc prin legături excitative întărite. Rolul său este acela de a amplifica și a "stereotipiza" un input mai redus la o anumită inhalare, fiind inițiatorul emergenței, prin bifurcare, a unui patern de activitate specific unui anumit miros, la nivelul întregului bulb olfactiv și nu doar la nivelul celulelor ansamblului. Prin activarea acestui ansamblu de celule cu legături întărite de către un miros input, se mediază emergența paternului global de activitate caracteristic mirosului. Se disting două situații. Dacă un stimul este repetat fără întărire, apare habituarea, ceea ce înseamnă că paternul activității va fi acela al stării care controlează păstrarea statu-quo-ului, ajungându-se la atractorul mirosului de fundal. Dacă se realizează întărirea, apare atractorul haotic de nivel superior, care nu va permite căderea sistemului în bazinul de atracție al mirosului de fundal, fiind posibilă, în acest mod, formarea unui nou atractor. Problema întăririi face trimitere la rolul motivației în procesul descris mai sus. Conform autorilor citați, dinamica emergentă și formarea paternurilor de activitate globală corespunzătoare unui anumit miros sunt în funcție de starea motivațională. Putem considera, astfel, că motivația ar avea rolul unui parametru de control pentru dinamica proceselor de memorie în sistemul olfactiv. Concluzia generală a autorilor citați în această privință a fost aceea că paternurile spațiale ale amplitudinilor activării neuronilor bulbari nu au fost invariante pentru un stimul dat. Orice schimbare introdusă în experiment, cum ar fi apariția unui nou miros discriminator, forțarea generalizării pentru mai multe mirosuri sau comutarea recompensei de la stimulul întărit la cel neîntărit a condus la modificări ale paternurilor preexistente ale amplitudinilor, inclusiv pentru faza de control. Acest

rezultat i-a determinat pe cei doi autori să abandoneze ideea că activitatea bulbară ar putea "reprezenta" vreun miros. S-a pledat, în schimb, pentru ideea că bulbul olfactiv este un sistem dinamic neliniar care este "destabilizat de inputul senzorial, conducând la construirea endogenă a propriilor paternuri de activitate spaţio-temporale" (Freeman, 1997). Datele cercetărilor ulterioare indică faptul că bulbul olfactiv nu e un caz special, aceeaşi dinamică regăsindu-se şi la nivelul cortexului vizual, auditiv, somatic şi entorinal (Freeman şi Barrie, 1994, Barrie, Freeman şi Lenhart, 1996, Kay, 1994, în Freeman, 1997). Dat fiind că toate aceste cortexuri sunt legate de hipocamp şi au aceeaşi dinamică, este justificat să se presupună, după Freeman (1997), că dinamica componentelor sistemului limbic se autoorganizează.

La un nivel mai general, Freeman şi Skarda (1990) observă că poziţia lor diferă de cea dominantă o lungă perioadă de timp, potrivit căreia paternul spaţial al activărilor neuronale în anumite zone corticale ar fi ca o "fotografie instantanee", reprezentând stimulul cu care a fost corelat, ca o imagine care serveşte la a indica prezenţa sau absenţa acestuia. Ei cred că o astfel de interpretare este înşelătoare, pentru că ne determină să considerăm, în mod greşit, că activitatea neuronilor e dependentă de impactul cauzal al stimulilor şi al trăsăturilor lor, căutându-se apoi "reflexia" stimulului din mediu, corelarea activităţii neuronale cu trăsăturile stimulilor. Autorii citaţi apreciază că lipsa de succes al unui astfel de demers are la bază utilizarea conceptului de reprezentare.

Cercetările pe care le-au întreprins ei indică faptul că, de exemplu, paternurile activităţii neuronale din bulbul olfactiv nu pot fi socotite ca fiind reprezentări interne ale unor mirosuri din două motive. Primul ar fi acela că prezentarea sistematică a unui miros nu conduce la formarea vreunui patern specific de activitate pentru acel miros. Numai în cazul în care mirosul este întărit, producând o schimbare în comportament, când deci există o stare de motivare, se formează, într-adevăr, un astfel de patern specific. Al doilea motiv este acela că paternul specific unui miros e dependent de răspunsul comportamental iniţiat, pentru că atunci când se schimbă contingenţa întăririi stimulului condiţionat, se schimbă şi paternul activităţii neuronale. Chiar mai mult, această activitate este dependentă şi de context, pentru că atunci când se învaţă un nou miros prin întărire, se schimbă şi paternurile de activitate asociate cu toate mirosurile învăţate anterior.

Aceste rezultate îi determină pe Freeman si Skarda (1990) să susțină că, de fapt, paternul activității neuronale corelează nu cu un stimul sau cu trăsăturile acestuia, ci cu "forme constante de interacțiune într-un context", care e specificat deopotrivă din punctul de vedere al comportamentului și din ce al mediului, printr-un proces dinamic. Dar, până când nu intervine un observator, în acest proces dinamic de interacțiune "nu există nimic intrinsec reprezentațional". De aceea, Freeman și Skarda (1990) cred că ar fi mai bine ca cercetătorii să se concentreze mai puțin pe modul în care lumea externă se reflectă în creier și mai mult pe activitatea cerebrală în sine, pe dinamica sa temporală, în general. Ei susțin această abordare plecând de la o interpretare dinamică a creierului, ca sistem fizico-chimic care se autoorganizează, ceea ce înseamnă că "nu reacționează la și nu e determinat de input", paternurile de activitate fiind formate în virtutea dinamicii sale interne și nu prin inpunere din exterior. Ținând cont de rezultatele pe care le-au obținut, Freeman și Skarda (1990) se consideră îndreptățiți să concluzioneze că o condiție esențială pentru apariția unor paternuri de activitate neuronală este aceea a existenței unei forme de activitate corespunzătoare unui proces dinamic de tip haotic, în care vechile paternuri formate să colapseze. Pentru că această activitate haotică, deși seamănă cu zgomotul, nu e zgomot, Freeman si Skarda (1990) sunt de părere că metafora "raportului semnal/zomot" nu e potrivită pentru funcționarea creierului. În plus, ei afirmă că, potrivit rezultatelor lor, nu se poate vorbi nici de o stocare episodică a informației corespunzătoare diverșilor stimuli olfactivi, evocarea lor realizându-se nu prin recuperare, ci prin recreere. Însă această recreere se face astfel încât paternurile recreate nu vor coexista cu paternurile generate de stimul, ceea ce face imposibilă existența vreunui proces de comparare, de punere în corespondență a stimulului cu o reprezentare din memorie. Din cele de mai sus, se deduce că cei doi autori sunt adepții unei abordări dinamice în care se renunță la ideea de reprezentare de memorie, cel puțin în sensul ei clasic.

Cosmelli et al. (2007) interpretează perspectiva lui Freeman și a colaboratorilor săi asupra procesului formării percepțiilor ca fiind mai mult un proces activ, mai apropiat de testarea ipotezelor, decât de recuperarea pasivă a informației primite. El presupune menținerea unei expectanțe cu privire la ce va apărea, prin descărcările sistemului limbic către toate cortexurile senzoriale. Ulterior, stimulul va confirma sau va infirma această ipoteză.

Rezultate obținute în investigarea activității neuronale și din alte zone ale creierului decât bulbul olfactiv au condus și ele la sprijinirea unei interpretări de tip dinamic a proceselor de formare a reprezentărilor în memorie. De exemplu, în cele ce urmează vor fi prezentate datele unor cercetări care s-au ocupat, în mod specific, de problema reprezentării stimulilor în memoria de scurtă durată. Astfel, Amit, Fusi și Yakovlev (1997) propun o interpretare prin prisma TSDN a datelor obținute de Miyashita și Chang (1988, în Amit et al., 1997) asupra dinamicii activării neuronilor din cortexul inferotemporal (IT) la maimuțe, după ce le-au fost prezentați stimuli pe care trebuiau să-i învețe pentru a da un răspuns specific. Aceste date au indicat existența unei rate mai ridicate de activitate, timp de mai bine de 30 secunde, pentru o parte din neuronii cortexului IT, în absența vreunui stimul, activitatea fiind însă dependentă de ultimul stimul prezentat. Pe baza rezultatelor, Miyashita și Chang (1988, în Amit et al., 1997) au tras concluzia că distribuția acestei activități întârziate (în engleză: "Delayed Activation Distribution", prescurtat: DAD) ar putea fi interpretată ca o reprezentare neuronală la nivelul memoriei de scurtă durată a ultimului stimul prezentat. Ceea ce a surprins, însă, cel mai mult a fost că, în situația în care în faza de antrenament se prezenta în mod repetat o secvență în ordine fixă de stimuli necorelați, DAD-urile învățate erau corelate între ele. Cu alte cuvinte, exista o probabilitate crescută ca același neuron să răspundă cu o activitate întârziată crescută pentru doi stimuli necorelați (neasemănători), dar care erau apropiați în cadrul secvenței de stimuli. Mai mult, magnitudinea acestor corelații între DAD-urile corespunzătoare stimulilor necorelați era cu atât mai mare cu cât stimulii erau prezentați mai aproape în timp.

Amit et al. (1997) prezintă o explicație a acestor rezultate pe baza interpretării DAD-urilor ca atractori, considerând că fenomenele evidențiate s-ar datora dinamicii atractorilor locali care se formează în modulele corticale din cortexul IT. Potrivit acestor autori, un DAD e un "fenomen colectiv susținut de o matrice sinaptică formată în procesul învățării", fiind rezultatul unei autoorganizări. Prezentarea repetată a unui stimul permite legarea unei mulțimi de neuroni prin sinapse excitatorii potențate (ceea ce consider că ar echivala cu formarea unui sistem dinamic complex care se autooragnizează, prin apariția interconectivității între elemente dinamice cum sunt neuronii, sau cu o bifurcație, prin care se schimbă dinamica locală, dacă neuronii unui modul din această regiune formează deja un sistem dinamic). Când grupul neuronal astfel format

este reactivat, neuronii vor coopera pentru a menține rate de descărcare crescute în cadrul acelui grup și după ce stimulul care a inițiat activarea a dispărut, ei furnizându-și reciproc input. Acest lucru le va permite să se diferențieze de alți neuroni aflați în același modul, ceea ce e echivalent cu formarea unei DAD. Brunel (1994, în Amit et al, 1997) arată că astfel de grupuri care generează DAD pot avea între 1 000 și 2 000 de neuroni, pentru un modul care are 100 000. Amit et al. (1997) susțin că natura colectivă a DAD se poate explica numai prin proprietățile sale de atractor. Chiar dacă un stimul este incomplet, deteriorat sau distorsionat, odată ce el este îndepărtat, pe baza structurii sinaptice a grupului format, care face posibilă cooperarea între neuroni, se va reconstitui cea mai apropiată DAD din cele pe care modulul a învățat să le susțină. Acest fenomen de reconstituire a stimulului este echivalent atracției către reprezentarea stimulului corespunzător atractorului celui mai apropiat. Reconstituirea va avea însă succes doar dacă distanța față de stimulul învățat inițial, pe baza căruia s-a format atractorul, nu e prea mare, adică dacă rețeaua de neuroni se mai află încă în bazinul de atracție al acelui atractor. Fiecare din stimulii prezentați în mod repetat pentru învățare vor crea câte un atractor, care va avea propriul său bazin de atracție.

Amit et al. (1997) consideră că ideea de reprezentare prin atractor este utilă și pentru a explica modul cum informația de la un stimul dintr-o secvență de stimuli prezentată în mod repetat într-o ordine fixă se transmite următorului stimul, astfel încât DAD-urile lor ajung să fie, în final, corelate, chiar dacă ei nu sunt asemănători. Conform teoriei lui Amit et al. (1997), care e susținută și de date, inițial, la primele prezentări ale stimulilor necorelați dintr-o secvență fixă de învățat nu există DAD-uri pentru aceștia. Apoi se formează, treptat, DAD-uri, care vor fi, la început, și ele, necorelate. Dar aceste DAD-uri inițiale vor fi folosite pentru propagarea informației între încercări, astfel încât reprezentarea unui stimul va fi influențată de reprezentarea stimulilor care îl preced (la fel precum în cercetările lui Skarda și Freeman, citate mai sus, activitatea neuronală legată de apariția unui miros era influențată de mirosurile anterior prezentate). Efectul acesta se produce, însă, în situația în care, în perioada dintre doi stimuli, activitatea neuronilor din grup nu va fi tulburată de apariția altor stimuli sau de către o activitate motorie. Amit et al. (1997) au verificat ipoteza DAD-ului ca atractor prin înregistrarea dinamicii în timp a unui singur neuron din cortexul IT. Ei apreciază că rezultatele obținute astfel de ei cu greu ar putea fi interpretate altfel decât

printr-o paradigmă dinamică, în care reprezentarea stimulilor în memoria de scurtă durată se face prin atractori. În plus, ei au evidențiat un rezultat mai puțin așteptat: DAD-ul unui stimul continua să persiste și după ce maimuța dădea răspunsul așteptat la acel stimul, adică DAD-ul se menține chiar dacă nu pare să mai aibă vreun rol funcțional. Rezultatele au sugerat, de asemenea, și prezența unui bazin de atracție pentru atractorul unui stimul învățat, pentru că s-a putut evidenția că neuronul își păstra răspunsul pentru câteva niveluri de degradare a unui stimul. Dar, de la un anumit nivel al degradării, răspunsul său scade brusc, el reprezentând granița bazinului de atracție dincolo de care stimulul nu va mai putea fi reconstruit.

Lundqvist, Rehn, Djurfeldt și Lansner (2006) sunt și ei promotorii unui model al unei memorii ca rețea asociativă care evoluează către structuri atractoare. Ei pleacă de la date care sugerează faptul că cortexul olfactiv (Haberly și Bower, citați de Lundqvist et al., 2006), precum și cel hipocampic (Treves și Rolls, 1994, în Lundqvist et al., 2006) pot fi modelate ca rețele autoasociative de memorie cu atractor. Autorii citați invocă un studiu realizat de Compte et al. (2000, în Lundqvist et al., 2006) care sugerează faptul că memoria de lucru localizată prefrontal ar avea la bază formarea unor aractori în această regiune. Date în sprijinul unei paradigme a memoriei având la bază evoluția către atractori au fost furnizate și de studiile *in vitro* realizate de către de către Cossart et al (2003, în Lundqvist et al., 2006) și Shu et al. (2003, în Lundqvist et al., 2006) pe țesuturi cerebrale. În cadrul acestor studii, s-au observat așa numitele stări de activare ridicată (stări UP) în care au intrat, simultan, aproximativ 0,5% din celulele piramidale a căror activitate a fost înregistrată, acestea depolarizându-se cu aproximativ 10mV și crescându-și frecvența descărcărilor până la 20 Hz. Astfel de stări se dezvoltă într-un interval de timp de cam 60 ms și durează câteva sute de milisecunde (Lundqvist et al., 2006). Autorii studiilor citate explică acest patern de activitate prin evoluția dinamică către stări atractoare și îl pun în legătură cu stările de activare persistente care au fost evidențiate în cursul executării de către maimuțe a unor sarcini care presupun memoria de lucru.

Plecând de la astfel de date, Lundqvist et al. (2006) au construit modelul unei rețele de tip asociativ care ține cont de o serie de date neurobiologice și biofizice legate de arhitectura și dinamica cortexului implicat în sarcinile de memorie. Ipoteza lor de bază a fost aceea că stările de activare ridicată (UP) sau scăzută (DOWN) exprimă o dinamică

de bază care implică evoluția către stări atractoare. Când atractorul este "activ", celule vor fi în starea UP, când nu este activ, ele vor fi în starea DOWN. Ei au validat în mod empiric această ipoteză, prin studiul comportamentului rețelei construite de ei în acest scop. Autorii citați sugerează că modelul propus ar oferi o explicație mai plauzibilă decât cele existente pentru fenomenul "clipirii atenționale" (în engleză: "attentional blink"), evidențiat de Shapiro et al. (1994, în Lundqvist et al., 2006). Acest fenomen se referă la faptul că, atunci când sunt prezentați doi stimuli țintă succesivi în cadrul unui flux de stimuli, când intervalul de timp dintre ei scade sub un anumit prag, cel de-al doilea stimul țintă nu mai este detectat, ca și cum atunci atenția ar "clipi". Se susține de către autorii citați că "clipitul atențional" s-ar datora faptului că memoria de lucru intră în starea atractoare corespunzătoare răspunsului la primul stimul țintă, iar activitatea declanșată de stimulul țintă care îl urmează prea repede nu e capabilă să scoată sistemul din atractorul în care acesta tocmai a intrat. Simulările făcute cu rețeaua construită de Lundqvist et al. (2006) sprijină presupunerile lor, ei observând că pentru intervale de timp mai mari de 20 ms, dar mai mici de 100 ms, un nou stimul (care urmează după unul inițial) nu a reușit să declanșeze activarea unui patern corespunzător lui. În schimb, pentru intervale mai mici de 20 ms, s-a întâmplat ca numai cel de-al doilea stimul să fie activat uneori, suprimând complet activarea atractorului primului stimul. Prin urmare, fenomenul observat s-ar datora competiției între "activarea" atractorilor corespunzători celor doi stimuli țintă succesivi. Un alt fenomen neurobiologic care se regăsește în comportametul rețelei elaborate de Lundqvist et al. (2006) este acela al apariției unei frecvențe gamma a oscilațiilor în jurul valorilor de 25-30 Hz (prin înregistrarea potențialelor de câmp locale produse în cursul activității spontane a rețelei), semnal care a fost generat, aproape în exclusivitate, de activitatea din cursul stărilor UP, ceea ce vine în acord cu datele experimentale care leagă oscilațiile gamma din EEG de sarcinile de memorie. Rețeaua recurentă elaborată de Lundqvist et al. (2006) a fost capabilă, de asemenea, ca, în prezența inputului, să execute câteva operații de prelucrare a paternurilor, cum ar fi completarea, selecția unuia în cazul unei competiții între paternuri rivale și reducerea efectelor zgomotului.

La fel ca și Skarda și Freeman (1987) și Amit et al. (1997), Gilden (2001) își susține și el viziunea dinamică asupra reprezentărilor de memorie prin rezultatele unor cercetări empirice pe care le-a întreprins.

Studiind timpii de reacție într-o sarcină de rotire mintală a unei imagini în funcție de unghiul de rotire, el a constat că doar 10% din varianța acestor timpi poate fi explicată de manipularea variabilei experimentale a unghiului de rotire (Gilden, 1997, în Gilden, 2001). În schimb, el a demonstrat că un procent dublu, de 20%, ar putea fi explicat de o componentă reziduală a fluctuației timpilor de reacție, care prezintă corelații la distanță cu un spectru de putere caracteristic zgomotului *1/f* care apare în sistemele dinamice complexe capabile de autoorganizare aflate la limita haosului (vezi Fig. 35). Acest tip de zgomot se diferențiază de zgomotul alb, în care fluctuațiile sunt total imprevizibile, aleatorii, și de zgomotul "maroniu" (în engleză: "brown"), caracteristic unui "mers cu pași aleatorii" (în engleză: "random walk'), în care gradul de anticipare e ridicat și gradul de corelație între seriile care pornesc de la doi pași succesivi e foarte mare.

Un patern similar al rezultatelor a apărut pentru fluctuațiile timpilor de reacție în diverse sarcini de discriminare care se repetă, în mod identic, de un număr foarte mare de ori (Gilden, 2001). Gilden (2001) a demonstrat că această componentă a zgomotului *1/f* din fluctuațiile reziduale care apar în timpii de reacție nu se datorează exclusiv zgomotului, oboselii, fluctuațiilor atenției, învățării sau proceselor de amorsaj secvențial (care au un efect pe o perioadă de timp mult mai redusă, de doar 5-8 încercări, decât perioadele de timp pentru care apar corelații la distanță în seriile de date, de 50-100 de încercări), ci și unei surse suplimentare, care are o dinamică regulată. El a emis ipoteza că această sursă suplimentară ar fi aceea a dinamicii intrinseci a setului mental caracteristic sarcinii pe care un participant trebuie să o repete de sute de ori. Considerând acest set mental ca fiind o reprezentare complexă, el a încercat să testeze ipoteza emisă pentru cazul unei reprezentări mai simple. Pentru a realiza acest lucru a propus un nou tip de design experimental, numit al producției, în care e vorba de un singur stimul sau de un singur tip de răspuns pe care participantul trebuie să-l repete de un număr mare de ori, fără un feedback. Un astfel de răspuns ar fi cel de producere, în mod repetat, a unei anumite cantități (de exemplu, o anumită perioadă de timp) care poate fi dată ca stimul inițial. Și în cercetările realizate cu acest design a obținut același patern al fluctuațiilor, caracteristic zgomotului *1/f*, pe care îl interpretează ca indicând o dinamică intrinsecă a reprezentării de memorie corespunzătoare stimulului inițial care trebuia reprodus, apoi, din memorie în mod repetat.

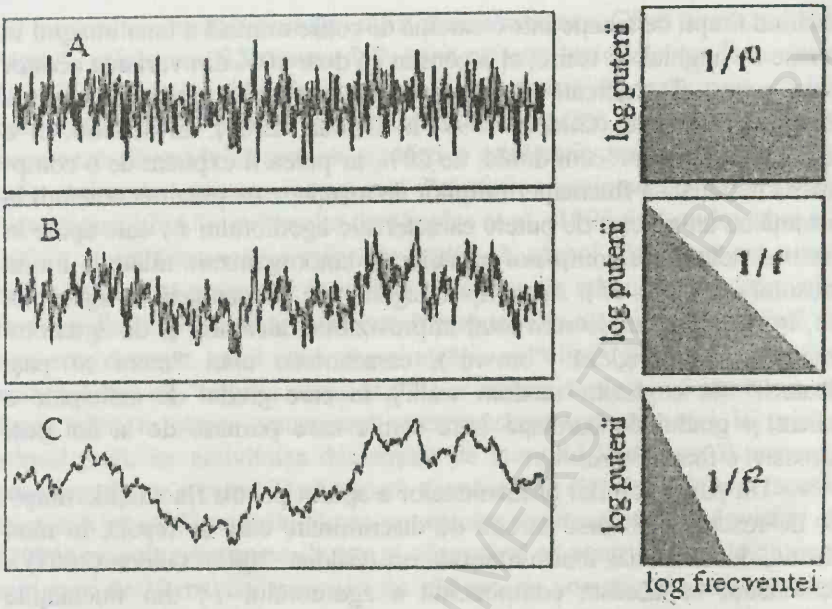


Fig. 35 Fluctuațiile în timp caracteristice celor trei tipuri de zgomot și spectrele lor de putere: A) zgomot alb; B) zgomot roz sau 1/f; C) zgomot "maroniu" (după Gilden, 2001)

Concluzia la care a ajuns Gilden (2001) în urma întregii serii de cercetări realizate este aceea că procesele de memorie induc nestaționaritatea la nivelul sensibilității perceptuale, discriminarea făcută la un moment dat influențând rezultatul unei discriminări făcute mult timp după aceea. El consideră că aceste procese de memorie sunt de tipul celor care apar în sisteme dinamice, zgomotul de tipul *1/f* fiind o manifestare a dinamicii intrinseci asociate cu formarea reprezentărilor de memorie, ca un tip special de structură de memorie care furnizează o "semnătură" a dinamicii interne a psihicului.

O susținere suplimentară pentru o astfel de concluzie este dată de rezultatele unei alte cercetări realizate de Gilden (2001, în Beltz și Kello, 2006), care a încercat să demonstreze că zgomotul *1/f* este transformat în zgomot alb dacă măsurarea dinamicii intrinseci este împiedicată prin manipulări experimentale care adaugă variații nesistematice de la o măsurătoare la alta. Participanților li s-a dat o sarcină în care trebuiau să

clasifice obiecte după formă şi culoare. Într-una dintre situaţiile experimentale, blocurile de încercări cereau fie clasificarea după formă, fie după culoare. În cealaltă situaţie experimentală, blocurile de încercări erau mixte, adică încercările în care clasificarea se făcea după formă erau amestecate, într-un mod aleatoriu, cu cele în care ea se făcea după culoare, ceea ce a furnizat o variaţie nesistematică în seria de timpi de reacţie. Analizele spectrale au demonstrat că, în această a doua condiţie, a dispărut zgomotul *1/f* din seria timpilor de reacţie, faţă de condiţia în care blocurile de încercări erau omogene. Interpretarea dată de Gliden (2001, în Beltz şi Kello, 2006) a fost aceea că zgomotul *1/f* este mai robust, fiind mai uşor de pus în evidenţă atunci când setul mintal se menţine de-a lungul măsurătorilor, netulburându-se astfel dinamica intrinsecă. Interpretările dinamice ale rezultatelor seriei de experimente prezentate mai sus au fost contestate de o serie de autori (Ding, Chen şi Kelso, 2001; Wagenmakers et al., 2004 şi Ward, 2002, în Beltz şi Kello, 2006). Criticile lor sunt, însă, combătute, în general, de Beltz şi Kello (2006), în baza argumentului că interpretările alternative existente nu pot explica prezenţa ubicuă a zgomotului *1/f* în sistemele biologice şi cele complexe şi nici nu pot rezolva problemele legate de parametrizare.

Folosind o paradigmă experimentală oarecum asemănătoare cu cea utilizată de Gilden în studiile sale (în sensul solicitării producerii succesive a unui acelaşi stimul), Kriz (2001) a reuşit să evidenţieze o dinamică atractivă a formării paternurilor în cursul repetării unor sarcini de reproducere (sau elaborare). El a cerut participanţilor din cursul unuia din studiile sale să reproducă descrierea unei persoane fictive (dată sub forma unei liste care cuprindea 72 de trăsături, formulate sub forma unor enunţuri în care se combina un adjectiv cu gradul în care atributul corespunzător caracterizează persoana în cauză). După ce un participant citea, fără timp limită, lista, avea de îndeplinit, pentru câteva minute, o probă de calcul aritmetic, după care trebuia să reproducă lista de trăsături prin bifarea adjectivelor şi gradaţiilor corespunzătoare dintr-o listă. În timp ce participantul execută din nou o sarcină aritmetică, răspunsul său este transformat într-o nouă listă descriptivă, similară celei iniţiale, care îi este dată apoi spre lectură pentru ca ulterior să o reproducă. Această procedură a fost repetată de 10 ori. La 25 dintre cei 30 de participanţi, Kriz (2001) a evidenţiat o dinamică atractivă, în sensul că diferenţele între reproducerile date în cicluri succesive au devenit, după câtva timp, aproape nule. O parte din descrierile în care se stabilizează reproducerile

participanților se dovedesc a fi construcții ale acestora, ele fiind variante foarte îndepărtate de lista de trăsături inițială.

Într-un al doilea studiu, realizat de Kriz, Kessler și Runde (1992, în Kriz, 2001), s-a folosit un inventar de personalitate cu 210 itemi. Participanții trebuiau să ghicească cum ar completa o persoană toți itemii unui astfel de chestionar, după ce au fost informați în legătură cu modul cum a răspuns aceasta la 10 dintre ei. Pentru că fiecare din paginile chestionarului cuprindea 10 itemi, reprezentând o secvență aleatorie a exact acelorași 10 dimensiuni de personalitate, procedura folosită a fost interpretată ca fiind tot una de producere serială, având 20 de cicluri, cu 10 itemi pe fiecare ciclu. Rezultatele studiului au indicat aceeași dinamică atractivă (ca și în studiul precedent) pentru toți participanții care erau din categoria celor fără simptoame psihopatologice, dar numai pentru anumite dimensiuni ale personalității persoanei fictive, care variau de la un participant la altul. În schimb, participanții din categoria celor cu simptoame de schizofrenie (care nu erau în fază acută) nu au prezentat o astfel de "ghicire stabilă" (dinamică atractivă) pentru nici una din dimensiuni, fiind incapabili să formeze un patern pentru personalitatea prezentată.

Kriz (2001) interpretează rezultatele acestor studii făcând referire la teoria lui Haken, prezentată mai sus, remarcând și el că există o analogie între formarea și recunoașterea paternurilor. El consideră că aceeași teorie poate fi utilizată și pentru a explica un alt set de rezultate din psihologia cognitivă, și anume cele care se referă la efectul primordialității. Acest efect a fost pus pentru prima oară în evidență de Asch (1946, în Kriz, 2001), care a studiat modul în care se formează impresiile legate de personalitatea cuiva. El a constat că modalitatea de descriere a unui personaj fictiv (pozitivă sau negativă) a depins de lista adjectivelor pe baza cărora participanții trebuiau să facă caracterizarea, mai precis a fost în funcție de ordinea în care apăreau adjectivele pozitive și cele negative. Dacă cele pozitive apăreau mai întâi, personajul fictiv era caracterizat predominant pozitiv, dacă cele negative se aflau la începutul listei, el era caracterizat predominant negativ. Kriz (2001) interpretează dinamic acest rezultat, ținând cont de dualismul formării și recunoașterii paternurilor. Primele adjective din listă au inițiat o dinamică de completare iterativă care pornește de la emergența unei caracterizări încă vagi, dar care va ghida, ulterior, printr-un parametru de ordine, procesul de interpretare, "înrobind" înțelesul adjectivelor care urmează (în sens pozitiv sau negativ).

Ipoteza unei dinamici autonome a reprezentărilor formate în procesele de memorie, ca cea emisă de Gilden (2001), ar putea fi susținută și de datele obținute în alte cercetări experimentale, care nu au o legătură directă cu cercetările empirice inspirate de TSDN.

Un prim exemplu ar fi acela al cercetărilor care au evidențiat așa numitul fenomen al "impulsului reprezentațional" (în engleză: "representational momentum"). Ele au fost inițiate în 1984 (Freyd și Finke, 1984). Impulsul reprezentațional este definit ca tendința ca o reprezentare de memorie să fie distorsionată în direcția continuării unei transformări care a început și care a fost brusc întreruptă (Freyd și Finke, 1984). De exemplu, memorarea ultimei poziții a unui obiect care se mișca pe o anumită traiectorie și a cărui mișcare este oprită la un moment dat, va fi distorsionată. Poziția memorată va fi una la care obiectul nu a apucat să ajungă, dar la care ar fi ajuns dacă mișcarea sa nu ar fi fost întreruptă (Freyd și Finke, 1985). E ca și cum reprezentarea mișcării obiectului ar fi influențată de ceva similar unei inerții. Jordan (2003) interpretează ideea momentumului reprezentațional ca o internalizare fenomenologică în dinamica sistemelor reprezentaționale cognitive a dinamicii mediului extern.

Studiile lui Hayes și Freyd (2002) arată și că distragerea atenției conduce la accentuarea efectului impulsului reprezentațional, participanții fiind și mai puțin capabili de a-și reprezenta punctul de oprire față de situația în care atenția nu le e distrasă. Concluzia dedusă este aceea că atenția nu contribuie la dinamica unei reprezentări, ci doar la reprezentarea momentelor de schimbare sau oprire. Pentru a explica impulsul reprezentațional, Freyd (1983, în Stränger și Hommel, 1996) presupune că un eveniment incomplet nu e stocat în mod discret, ci stimulează o reprezentare internă dinamică a unui eveniment dat. Se apreciază că cercetările care au demonstrat apariția fenomenului impulsului reprezentațional aduc argumente în favoarea ipotezei că dinamica e o parte intrinsecă a unei reprezentări memorate (Freyd, 1987).

Studiile ulterioare asupra momentumului reprezentațional au adus date noi, care schimbă perspectiva asupra reprezentărilor interne și într-un alt sens. La început, momentumul reprezentațional a fost considerat a se datora unor "transformări post-hoc ale conținutului perceptual neintenționat aduse de momentumul sistemelor cognitive" (Jordan, 2003). Dar, cercetările mai recente, realizate de Kerzel et al. (2001, în Jordan, 2003), au demonstrat că erorile în percepția locației unui obiect au variat

sistematic în funcție de intențiile față de acel obiect: dacă era o țintă într-o sarcină de urmărire (caz în care apare efectul momentumului reprezentațional) sau o țintă într-o sarcină de fixare (caz în care momentumul a fost foarte redus sau chiar absent), mișcările oculare nejucând nici un rol în această privință, după cum o arată datele obținute de Jordan et al. (2002, în Jordan, 2003). Astfel de rezultate îl determină pe Jordan (2003) să propună o reconsiderare a ideii de reprezentare mintală intenționată. O reprezentare nu ar putea fi intenționată în virtutea faptului că o persoană își reprezintă ceea ce vrea să își reprezinte, pentru că nu se poate admite, în opinia autorului citat, ideea de reprezentare, specifică unei teorii a cogniției neîncorporate, ca un precursor al unei acțiuni care e separat de aceasta. În schimb, el sugerează că o reprezentare mintală este intenționată pentru că se referă la "distalitatea" de tip funcțional, care derivă din intenția de a menține un anumit tip de coordonări cu mediul și, astfel, de a controla distalitatea (nefiind, de aceea, o distalitate pur psihofizică). Prin urmare, Jordan (2003) crede că nu se justifică ideea de reprezentare mintală care să fie văzută ca un vehicul care cară un conținut. Concepția lui Varela (1994) asupra reprezentărilor este înrudită cu teoria lui Jordan (2003). Acesta susține că nu există, de fapt, regularități de mediu care să fie internalizate pentru a se forma reprezentări, ci aceste regularități sunt rezultatul emergent al unei lungi istorii de codeterminare prin cuplarea între organism și mediu.

Stränger și Hommel (1996) ajung la o generalizare a noțiunii de impuls reprezentațional. Autorii citați susțin că, în general, noile eșantioane vizuale ale unui eveniment sunt integrate într-un model al acestuia, dacă ele provin din același eveniment, pentru ca, ulterior, informația senzorială disponibilă să fie folosită pentru a reactualiza modelul, umplând golurile din fluxul informației senzoriale. O astfel de interpretare ar explica rezultatele cercetărilor realizate de Jenkins, Wald și Pittenger (1978, în Stränger și Hommel, 1996) și Pittenger și Jenkins (1979, în Stränger și Hommel, 1996). În acestea, s-au obținut date conform cărora prezentarea unor fotografii în cadrul unor secvențe ordonate temporal ale unui eveniment a condus la o reprezentare completă a evenimentului, care se extindea dincolo de fotografiile prezentate. Ea a fost evidențiată prin confuzia pe care participanții o făceau când li se cerea să recunoască, dintr-un set de fotografii noi, pe cele care au fost prezentate anterior. Ei manifestau tendința de a recunoaște greșit fotografii care se puteau integra în evenimentul prezentat inițial, ceea ce nu se întâmpla pentru fotografiile

noi, care nu se puteau integra în acel eveniment. Stränger şi Hommel (1996) consideră că un astfel de rezultat îi îndreptăţeşte să presupună că mediul este modelat şi nu este reprezentat, ceea ce ar însemna că modelul are un anumit grad de autonomie faţă de datele senzoriale, el fiind mult mai apropiat de mediu decât de acestea. Pe baza acestei presupuneri, ei susţin că s-ar putea face următoarele predicţii: 1) construirea unui model nu ar trebui să depindă de continuitatea fluxului senzorial, lucru demonstrat de cercetările citate mai sus; 2) pentru că modelul are prioritate în faţa informaţiei senzoriale, noi imagini care se pot integra în model nu vor fi recunoscute ca noi, ci vor fi integrate în acesta (ceea ce ar însemna că pe baza modelului se construiesc noi reprezentări senzoriale); 3) modelul ar trebui să prezinte proprietăţi dinamice intrinseci, adică să reprezinte continuitatea evenimentului, fără ca să dispună de un flux senzorial continuu, putând completa evenimentul în cazul în care acesta este întrerupt.

Se remarcă faptul că ideea de model pe care o au Stränger şi Hommel (1996) se aseamănă foarte mult, ca şi concepţie, cu ideea unei reprezentări mintale care are o natură dinamică. În plus, fenomenul impulsului reprezentaţional generalizat este comparabil cu fenomenul memoriei asociative, care presupune recunoaşterea unui stimul perceptual incomplet şi care a fost simulat prin intermediul unor reţele dinamice cu atractori, aşa cum s-a văzut mai sus. Deosebirea ar fi doar că, în primul caz, stimulul de completat este unul care este definit şi pe o dimensiune temporală, nu doar spaţial, cum e cazul stimulilor perceptuali folosiţi ca input în al doilea caz. Prin urmare, completarea secvenţelor de evenimente cu altele noi, prin care acestea sunt integrate, ar fi interpretabilă dinamic, la fel ca şi recunoaşterea oricărui stimul când acesta este incomplet. Ea poate să fie efectul "căderii" sistemului psihic dinamic în bazinul de atracţie al unui atractor corespunzător unui eveniment similar din trecut sau, pentru cazul în care nu a existat un astfel de eveniment, efectul unei capacităţi de autoorganizare a dinamicii mintale, care poate generează fenomene cooperative sinergice, integratoare.

Dacă formarea unei reprezentări mintale în cursul proceselor de memorare presupune schimbarea dinamicii unui spaţiu fază reprezentaţional continuu, astfel încât să apară o structură atractoare (indiferent de tipul acesteia), aşa cum susţin majoritatea autorilor care subscriu la o interpretare dinamică a proceselor mintale, rezultatele obţinute în legătură cu impulsul reprezentaţional sunt de aşteptat. Spaţiul reprezentaţional se va deforma continuu pe traiectul dintre punctele din acel spaţiu corespun-

zătoare perspectivelor diferite care pot exista asupra unui obiect sau secvențelor statice ale unui eveniment. Așa cum s-a remarcat și mai sus, ele pot fi privite, la fel ca în cercetările lui Haken (1995a), ca paternuri parțiale, care conduc, potrivit unei dinamici interne, la un patern complet. Dar, pentru a se ajunge la paternul complet, la atractorul său, e inevitabilă trecerea printr-un bazin de atracție, format din stări de "reprezentare" a unor stimuli posibili, care nu au fost văzuți în realitate, similari însă cu cei care au fost văzuți. Prin urmare, în tranziția de la un patern incomplet dat, instabil, la unul complet, stabil, se vor activa, pe traseul traiectoriei dinamicii, stările reprezentaționale ale altor paternuri incomplete, care, datorită instabilității lor, nu vor fi active suficient de mult timp pentru fi conștientizate. Dar trecerea prin ele și plasarea lor în bazinul de atracție se vor releva prin faptul că stimulii corespunzători acestor stări posibile de reprezentare vor fi mai ușor percepuți sau categorizați când vor fi văzuți într-adevăr sau vor tinde să fie confundați cu cei similari văzuți anterior. Astfel, se ajunge la o interpretare dinamică și a fenomenului amorsajului, ca o plasare în apropierea unui bazin de atracție într-un spațiu reprezentațional al stărilor prin intermediul unei stimulări, astfel încât stimulii care formează reprezentări în atractorul acelui bazin vor fi mai ușor recunoscuți.

Ideea unui spațiu reprezentațional al stărilor care să aibă o dinamică specifică, manifestată prin formarea unor atractori în acel spațiu, poate fi susținută de rezultatele unei cercetări realizate de Leopold, O'Toole, Vetter și Blanz (2001). Conform acestora, adaptarea la stimularea cu imaginea unei fețe prezentată într-o poziție normală a tins să aibă un impact semnificativ și predictibil asupra perceperii identității unor fețe stimul prezentate ulterior, chiar și când acestea erau structural foarte diferite de cea prezentată inițial. De fapt, efectul depindea, în mod critic, de poziția relativă a celor două fețe stimul (din faza de studiu și cea test) într-un spațiu pe care autorii l-au numit spațiul de reprezentare a fețelor. În acest spațiu, fețele sunt reprezentate ca puncte, de fapt, vectori, având în centru fața neutră. Direcția influenței perceptuale (care se îndepărta de punctul din acest spațiu care corespundea feței stimul pentru care a apărut adaptarea și care era de-a lungul unei axe care trecea prin centrul spațiului fețelor) i-a sugerat autorului că percepția structurii unei fețe se bazează pe mecanisme contrastive, despre care putem specula că indică o dinamică de competiție între atractori. Ceea ce i-a surprins pe autorii studiului a fost că adaptarea la fața stimul face ca o față stimul neutră, ca cea plasată în centrul spațiului fețelor, să dobândească "o nouă identitate", adică să fie

percepută, în mod distorsionat, în direcție opusă, în acord cu traiectoria specifică din spațiul fețelor. Astfel de distorsiuni în percepție s-ar datora, potrivit autorilor citați, adaptării, care modifică temporar echilibrul dinamic al capacității de răspuns a neuronilor specializați în analiza structurii faciale. Fața neutră are un rol deosebit de important, care e similar cu rolul pe care îl are un prototip în categorizare, fiind tendința centrală a unei colecții de stimuli, chiar dacă nu a fost văzută niciodată. Ea a fost clasificată sau recunoscută mai ușor decât alți stimuli care au fost văzuți anterior. Autorul studiului afirmă că nu poate explica acest efect, dar consider că se poate sugera o explicație dinamică. Tendința centrală, sau echivalent, prototipul și fața neutră, ar putea să reprezinte atractorul unui spațiu stare reprezentațional, corespunzând acelei reprezentări care are stabilitatea cea mai mare și, prin urmare, este și cel mai ușor accesibilă. Așa cum s-a menționat și mai sus, nu e necesar ca atractorul unui spațiu reprezentațional să corespundă unui stimul întâlnit în mod real, el fiind creat prin schimbarea dinamicii spațiului continuu de către alți stimuli similari, întâlniți anterior.

Potrivit rezultatelor obținute de Leopold et al. (2001), se poate trasa o traiectorie a identității unei fețe în spațiul fețelor, astfel încât, manipulând poziția unei fețe stimul pe această traiectorie, se va putea varia gradul de "individualitate a feței", care devine zero când se ajunge în dreptul feței prototip neutre. La capătul extrem al traiectoriei identității, plasat de aceeași parte cu fața stimul pentru care a apărut adaptarea în raport cu centrul spațiului, se află reprezentarea unei fețe gen caricatură a feței stimul. Fețele plasate pe aceeași axă, dar de partea cealaltă în raport cu fața neutră, numite "antifață", apar ca aparținând unui individ total diferit. Autorii citați remarcă faptul că tranziția de la față la antifață trece printr-un punct de discontinuitate în perceperea identității. Prezența acestei discontinuități ne duce cu gândul la posibilitatea ca tranziția de-a lungul traiectoriei identității să poată fi interpretată dinamic prin același model teoretic elaborat de Haken (1995a) pentru a explica tranziția între două interpretări opuse ale unei figuri ambigue. E vorba de un model printr-o bifurcație catastrofică de tip pisc pentru dinamica identității, de trecere între două regimuri atractoare aflate în competiție, reprezentate de identități opuse. Ea ar presupune evidențierea semnelor unei catastrofe de acest tip, printre care hysteresis-ul sau contrastul accentuat, dacă s-ar realiza o variere a stimulilor sistematică în timp, pe această traiectorie. Datele în favoarea existenței unei traiectorii a identității într-un spațiu

stare reprezentațional semnalează un aspect care este posibil să fie important în definirea unei interpretări dinamice a reprezentărilor din memorie. Într-o abordare tradițională în cadrul psihologiei cognitive, principalul criteriu în aprecierea identității unei reprezentări este considerat acela al asemănării structurale, presupunându-se că ea poate fi stabilită printr-un proces de comparare. În schimb, pentru o abordare dinamică, criteriul cel mai important în aprecierea identității a două reprezentări ar putea fi considerat acela al continuității unei dinamici, al plasării pe o aceeași traiectorie într-un spațiu stare reprezentațional dinamic sau într-un același bazin de atracție. În consecință, nu va mai fi nevoie de un proces de comparare pentru stabilirea identității, ci de existența unui proces dinamic. O astfel de teză a continuității în stabilirea identității reprezentărilor își poate găsi sprijin în datele cercetării realizate de Leopold et al. (2001). Conform acestora, fețe stimul care au poziții foarte apropiate în spațiul fețelor, dar nu sunt pe un același traseu al identității, sunt percepute ca fiind foarte diferite, în vreme ce altele, relativ îndepărtate, dar situate pe traseul identității, vor fi apreciate ca fiind foarte asemănătoare.

Pentru a susține ipoteza unei dinamici intrinseci a reprezentărilor formate în memorie, rezultatele experimentale obținute cu referire la fenomenul impulsului reprezentațional pot fi completate cu cele care privesc rolul unei informații dinamice suplimentare în facilitarea recunoașterii stimulilor statici sau dinamici. Vuong și Tarr (2004) observă și ei că este posibilă o paralelă între cele două tipuri de cercetări, bazându-se, însă, pe o altă idee, aceea că rezultatele amândurora ar putea fi invocate pentru a susține ipoteza că informația dinamică este codată în reprezentările pe termen scurt ale obiectelor. Un argument în acest sens este acela că Freyd (1983), cercetătoarea care a descoperit fenomenului impulsului reprezentațional, se numără și printre inițiatorii studiilor legate de influența informației dinamice în procesele de recunoaștere. Ea a arătat că recunoașterea unor caractere grafice artificiale statice este mai rapidă dacă ele sunt distorsionate într-o manieră care se potrivește cu o metodă de trasare a lor la care participanții au fost anterior martori, decât dacă distorsiunea nu se potrivește cu această metodă (Freyd, 1983). Astfel de date ar susține influența pe care informația dinamică o are în recunoașterea stimulilor statici. Între timp, cercetările ulterioare în această direcție, care s-au concentrat, multe din ele, pe rolul informației dinamice în recunoașterea fețelor umane, au adus precizări suplimentare importante.

De exemplu, Wallis (2002, în Newell, Wallraven şi Huber, 2004) a arătat că perspective multiple asupra unui obiect care sunt codate într-o proximitate temporală crescută tind să fie integrate într-o singură reprezentare a obiectului, chiar dacă imaginile, ca atare, sunt foarte diferite. De asemenea, Lawson, Humphreys şi Watson (1994, în Vuong şi Tarr, 2004) au prezentat date conform cărora participanţii la cercetarea lor puteau identifica mai precis obiecte şi animale reale dacă erau prezentate într-o secvenţă coerentă de perspective care furniza o aparentă mişcare de rotaţie în adâncime, decât atunci când aceleaşi imagini din secvenţă erau prezentate în mod aleatoriu. Într-un alt studiu, realizat de Kourtzi şi Shifrar (1999, în Vuong şi Tarr, 2004), se arată că prezentarea unui obiect în două cadre separate care sugerau o mişcare aparentă a acestuia printr-o rotaţie în adâncime de 120 de grade a amorsat perspective asupra obiectului care ar fi putut fi văzute dacă obiectul ar fi parcurs, în mod real, traiectoria mişcării aparente. Explicaţia pe care o dau Kourtzi şi Shifrar (1999, în Vuong şi Tarr, 2004) este aceea că recunoaşterea unui obiect va depinde de multele înregistrări făcute în mai multe apariţii ale obiectului. Ei arată, însă, că aceste înregistrări nu sunt statice, ci sunt afectate de dinamica obiectelor. Datele unor studii ca cele citate mai sus, îi determină pe Vuong şi Tarr (2004) să conchidă că prin mişcare se specifică o informaţie care depăşeşte informaţia dată de simpla vedere a unor perspective diferite ale obiectului.

De asemenea, şi cercetările realizate de Ambadar, Schooler şi Cohn (2005) indică un rol al informaţiilor dinamice, de data aceasta în identificarea expresiilor faciale ale unor emoţii. Ei arată că rezultatele lor nu pot fi explicate doar prin surplusul de informaţie oferit în prezentările dinamice şi că afişarea unor stimuli dinamici nu facilitează procesele de identificare bazate pe configuraţie. Concluzia autorilor este că efectul benefic al mişcării se datorează unui factor inerent proprietăţii dinamice însăşi. Una din explicaţiile emise de aceştia este că, prin mişcare, se creşte sensibilitatea la schimbarea trăsăturilor faciale din cursul unei emoţii. Fenomenul neapariţiei unui avantaj în recunoaştere când schimbarea facială datorată unei expresii emoţionale era prezentată printr-o succesiune de secvenţe statice, între care erau prezentaţi stimuli de mascare, faţă de situaţia în care nu existau astfel de stimuli, este similar cu fenomenul orbirii faţă de schimbare (Levin şi Simons, 1973, în Ambadar et al, 2005). În ambele situaţii, sistemul vizual extrage informaţia legată de schimbare dacă imaginile se succed, dar nu şi când un stimul de mascare foarte scurt

este intercalat între imagini. O explicație posibilă, la nivelul dinamicii neuronale, pentru acest rezultat o pot oferi datele obținute de Amit et al (1997), menționate și mai sus, care indică faptul că nu apare o corelare între DAD-urile (reprezentările în memoria de scurtă durată) stimulilor dintr-o secvență temporală dacă între ei sunt intercalați alți stimuli (cum sunt stimulii de mascare) sau activități motorii.

Într-un studiu care sintetizează rezultatul cercetărilor pe adulți cu privire la rolul informației dinamice în recunoașterea stimulilor, O'Toole, Roark și Abdi (2002) ajung la următoarele trei concluzii: 1) informația dinamică tinde să contribuie mai mult decât cea statică la recunoaștere în condiții de percepție care nu sunt optime (de exemplu, iluminare scăzută, rezoluție scăzută, distanță mare); 2) informația dinamică e implicată mai mult în recunoaștere pe măsură ce experiența, familiarizarea cu stimulul, crește (de exemplu, fețele unor celebrități); 3) o analiză a structurii care se obține din mișcare contribuie la recunoașterea fețelor umane. Prin urmare, datele nu indică un avantaj general în recunoașterea unui stimul pentru situațiile când el a fost prezentat și în mișcare, pentru că el lipsește pentru stimulii nefamiliari sau pentru cei prezentați în condiții optime. Consider că lipsa de generalitate este explicabilă în mai multe moduri. În primul rând, Young et al. (1985, în Sadr, Jarudi și Sinha, 2003) și Bruce et al. (1999, în Sadr et al., 2003) au arătat că în recunoașterea fețelor nefamiliare sunt mai importante trăsăturile externe ale feței (adică cele ale conturul ei), care sunt mai puțin dinamice decât trăsăturile interne (ca ochii, sprâncenele, gura), socotite elemente mobile. Dar, după cum arată studiile experimentale (O'Toole et al., 2002), fețele familiare par să fie identificate, predominant pe baza trăsăturilor interne, mai mobile. De aceea, e de înțeles de ce stimulii în mișcare favorizează recunoașterea mai ales pentru stimulii familiari și nu pentru cei nefamiliari. Pe de altă parte, faptul că pentru stimulii familiari sunt mai importante trăsăturile mobile ar fi un semn că pentru formarea unei reprezentări stabile e nevoie de informație dinamică. Este de presupus, însă, că e nevoie de timp, de o experiență mai îndelungată cu stimulul, pentru ca informația dinamică să fie folosită cu eficiență maximă și, de aceea, rezultatele privind efectele informației dinamice pentru recunoașterea fețelor nefamiliare sunt mixte. În plus, chiar dacă la adulți cercetările indică faptul că reprezentările statice se pot forma și în absența informației dinamice, există date (Otsuka, Kanazawa, Yamaguchi, O'Toole și Abdi, 2005) obținute pe sugari (cu o vârstă între 3 și 5 luni), care indică faptul că la aceștia apare

un efect facilitator al informației dinamice și pentru fețele nefamiliare, nu doar pentru cele familiare.

Și rezultatele care provin din înregistrarea activității neuronale la nivel cerebral susțin importanța informației dinamice în formarea reprezentărilor în memorie a stimulilor. Formulând o concluzie similară, în multe privințe, cu aceea a lui Voung și Tarr (1994), prezentată mai sus, Stone (1998, 1999, în Newell et al., 2004) consideră că obiectele sunt reprezentate în memoria vizuală ca având o "semnătură spațio-temporală" unică, care permite integrarea deopotrivă a informației despre formă și despre mișcare. Această idee este sprijinită de datele obținute de Kourtzi și Kanwisher (2000, în Newell et al., 2004). Ei au arătat că zone cerebrale sensibile la mișcarea stimulilor vizuali, cum sunt cele din aria vizuală temporală mijlocie la oameni, sunt activate și de imagini statice ale obiectelor, dacă mișcarea e implicită în acele imagini: de exemplu, ele sunt activate de imaginea unui baschetbalist care se pregătește să arunce la coș, dar și nu de o imagine a acestuia șezând pe o bancă. De asemenea, Kriegeskorte, Sorger, Naumer, Schwarzbach, van den Boogert, Hussey și Goebel (2003) au studiat fenomenul cunoscut sub numele de "structură din mișcare" (în engleză: "Structure-from-Motion", prescurtat SFM), la nivelul dinamicii activității cerebrale. Fenomenul SFM apare atunci când puncte aflate în mișcare pot evoca un percept al unei structuri spațiale a unui obiect tridimensional, în absența altor indicii vizuale. Folosind fMRI, urmărind traseul activărilor care au loc după prezentarea unui stimul de tip SFM (care era constituit din puncte care au fost extrase de pe suprafața unei fețe umane aflate în mișcare), autorii mai sus citați au obținut rezultate care indică faptul că fluxul câmpului de mișcare (care e prelucrat în zona dorsală a creierului) formează baza pentru recunoașterea obiectelor care se procesează în zona ventrală a creierului. Stimulii SFM folosiți de ei au provocat un răspuns specific recunoașterii unei fețe în aria fusiformă specializată în prelucrarea stimulilor care reprezintă fețe umane, chiar dacă ei erau doar niște puncte în mișcare, extrase de pe suprafața unei fețe umane. Concluzia acestor autori este că procesele din ariile de prelucrare a mișcării permit reprezentarea structurii suprafeței obiectului de recunoscut, excitând ariile care se activează de obicei pentru stimuli statici.

Seria mai lungă de rezultate experimentale privitoare la valorificarea informației dinamice în procesele de recunoaștere ridică problema importanței pe care o are, din perspectiva unei interpretări dinamice a

proceselor de reprezentare în memorie, posibilitatea unei interacțiuni cu stimulul pentru formarea unei reprezentări mintale cât mai stabile a acestuia. Având în vedere că se presupune că deopotrivă sistemul cerebral și sistemele din mediu (fizice, biologice, sociale) au o natură dinamică, se poate emite ipoteza că cea mai potrivită cale prin care stările sistemelor din mediu reușesc să își găsească o reprezentare în sistemul psihic ar fi aceea a cuplării dinamice cu acesta. De aceea, prezentarea unor stimuli în contextul unor dinamici în care sunt sau este posibil să fie încorporați ar avea rolul de a contribui la construirea sau schimbarea mai rapidă a unei dinamici într-un spațiu stare reprezentațional, astfel încât structura atractoare creată pentru a reprezenta stimulul și contextul său să aibă o stabilitate mai mare. În acest fel, recunoașterea sau evocarea stimulului vor fi mai puțin afectate de influența unor condiții perturbatoare. Prin urmare, ar fi explicabil de ce importanța informației dinamice devine semnificativă, fiind astfel și mai ușor de evidențiat, în situația în care un stimul este degradat. De asemenea, efectul facilitator al informației dinamice este mai pregnant în situația când un stimul este mai familiar tocmai pentru că șansele sunt mai mari ca întâlnirile mai frecvente cu acesta să fi oferit ocazia de a intra cu el în contact când el este încorporat într-un proces dinamic. După cum indică datele studiilor citate (de exemplu, Otsuka et al., 2005), la adulți e mai ușor să se formeze reprezentările unor stimuli statici în absența informației dinamice decât la copii. Din punct de vedere dinamic, acest lucru ar însemna că, după ce pe un spațiu stare reprezentațional s-a indus o dinamică prin cuplarea cu stimuli dinamici din mediu, va fi mai ușoară recunoașterea unor stimuli statici și în absența unei informații dinamice în cursul experimentului. Dar înainte ca acest lucru să se întâmple, aceasta s-ar putea dovedi necesară pentru recunoașterea și a unor stimuli statici. Ipoteza că la baza formării reprezentărilor statice ar sta o informație de natură dinamică poate fi susținută de datele obținute de Kriegeskorte et al. (2003), prezentate mai sus.

Deși procesele de învățare, strâns legate de cele de memorie, au fost relativ puțin explicate din punct de vedere dinamic, există unele încercări în această direcție. Astfel, Kelso (2003) sugerează modul în care ar fi posibilă învățarea în contextul teoriei sale asupra dinamicii coordonării. Potrivit acestui autor, ideea cheie ar fi aceea că învățarea înseamnă o "modificare a capacităților preexistente ale celui care învață în direcția deprinderilor de învățat" (adică nu este reductibilă la asociație/ repetiție/ întărire), ceea ce implică faptul că solicitările unei noi sarcini pot coopera

sau intra în competiție cu tendințele de coordonare dinamică preexistente. Implicit, a învăța este echivalat cu a crește stabilitatea unui patern comportamental, care ar fi operaționalizabilă prin viteza de comutare către paternul învățat, timpi de relaxare mai scurți pentru patern, o scădere a fluctuațiilor. Realizând o serie de cercetări empirice în baza unei astfel de operaționalizări, autorul citat, împreună cu colegii săi, au demonstrat că o stare atractivă dobândește putere (stabilitate) pe măsură ce informația este memorată, dar că o altă formă de manifestare a învățării este și aceea de schimbare a structurii atractoare printr-o bifurcație. Cu alte cuvinte, stabilizarea unui patern conduce și la alte paternuri de coordonare care devin disponibile, prin stabilizare, celui care învață și duce la destabilizarea sau dispariția altora (cel puțin temporar). Prin urmare, efectele învățării nu se reduc doar la o modificare a comportamentului în direcția paternului de învățat, ci ele implică schimbarea globală a dinamicii coordonării. O astfel de explicație ar fi utilă în explicarea biasărilor observate în cursul proceselor de învățare și a modificărilor de variabilitate într-un patern comportamental executat, în sensul că ele depind de interacțiunea competitivă între cerințele unei sarcini și tendințele de coordonare individuale existente (formate în baza unor sarcini din trecut).

În același context, Kelso (2003) arată că transferul și generalizarea unui comportament învățat sunt reinterpretabile dinamic, eficiența acestora depinzând de cuplarea și similaritatea dinamicii coordonării a două sisteme efectoare diferite (unul antrenat și altul neantrenat, către care are loc transferul). O astfel de explicație ar arunca o lumină nouă și asupra modului în care teoriile anterioare ale învățării au conceptualizat rezultatul acesteia, adică prin formare unor "entități abstracte specifice sarcinii, cum ar fi scheme, imagini ale performanței și programe generalizate" (Kelso, 2003). De exemplu, aceeași proprietate a ideii de schemă formată prin învățare, invarianța, care permite justificarea modului în care experiențe variabile conduc la formarea unui program generalizat, se regăsește ca trăsătură "intrinsecă" a rezultatului obținut prin formarea unor structuri ca rezultat al dinamicii coordonării (Kelso, 2003), însoțită, în plus, și de o explicație a acesteia în termenii stabilității. Avantajul suplimentar, evidențiat de Kelso (2003), ar fi acela că prin noua abordare s-ar putea da seama și de trăsăturile dinamice care au fost observate a apărea în cursul învățării: multistabilitatea (existând paternuri comportamentale diferite pentru aceeași valoare a unui parametru), tranzițiile de fază (comutarea sau luarea deciziilor astfel încât, la o valoarea critică a

unui parametru, este selectat un nou comportament), hysteresis (apariția unei memorii primitive, prin care istoria recentă a comportamentului afectează comportamentul curent), fluctuațiile spontane (care nu mai sunt "erori" sau "zgomot", ci o cale prin care sistemul își testează propria stabilitate în circumstanțele date).

Din punct de vedere pragmatic, o abordare dinamică a învățării sugerează căi de îmbunătățire a proceselor de învățare sau o explicație a utilității lor, identificate de Kelso (2003). Astfel, e necesar a se identifica abilitățile și deprinderile preexistente înainte începerii învățării oricărui comportament nou, tocmai pentru că este posibil ca acestea să faciliteze sau să împiedice noul proces prin competiția sau cooperarea datorată interacțiunii dinamice. Profesorii ar putea înțelege mai bine, în acest mod, și dinamica progresului în învățare. Interacțiunea prin cooperare va grăbi procesul, iar competiția îl va încetini. În plus, se susține că așteptarea ca învățarea să decurgă gradual este nerealistă, procesele de interacțiune dinamică prevăzând posibilitatea apariției unor tranziții neliniare, abrupte, în care se va produce o îmbunătățire prin salturi calitative, după lungi perioade de stagnare sau chiar de regres. Și conținutul învățării este regândit, astfel că Thelen (2003) sugerează că cel mai importante ar fi paternurile adecvate de forțe prin intermediul cărora copilul poate interacționa cu mediul.

În lumina acelorași principii pe care Kelso (2003) le-a promovat pentru înțelegerea învățării, Thelen (2003) interpretează rezultatelor studiilor pe sugari în probe de tipul celor clasice piagetiene, de demonstrare a conservării obiectului. La sugarii de aproximativ 8-10 luni apare o eroare specifică când aceștia, după ce au descoperit în mod repetat un obiect ascuns într-o locație A, se reîntorc la această ascunzătoare inițială și după ce obiectul a fost ascuns într-o nouă locație B. Thelen (2003) crede că trebuie respinsă interpretarea tradițională, potrivit căreia, printr-o astfel de probă, s-ar putea releva cunoștințele pe care le au sugarii privind permanența obiectelor, ea evidențiind mai mult "abilități sau dizabilități singulare" legate de "codarea spațială, strategii de căutare sau reprezentări ale obiectului". După părerea sa, în centrul atenției ar trebui să stea comportamentul prezent și cel din trecut al sugarilor atunci când se explică rezultatele versiunii clasice a acestei probe, cât și efectele schimbării contextului prin manipulări experimentale. În esență, explicația erorii care apare s-ar datora interacțiunii dintre activitatea perceptual-motorie anterioară a sugarului și cerințele unei sarcini noi și/sau dificile. Prin

repetiția unor acțiuni care au o aceeași țintă, acestea încep să acționeze, în termeni dinamici, ca un "atractor", blocând comportamentul sugarului într-un comportament executat anterior. La apariția erorii contribuie deopotrivă percepția, acțiunea și memoria, ca procese care interacționează dinamic, dând naștere unor efecte care depind de timp.

În colaborare cu alți cercetători (Schöner, Scheir și Smith), autoarea citată oferă o explicație mai detaliată a fenomenului în discuție, prin utilizarea ideii lor de "câmp dinamic decizional". Se pornește de la presupunerea că toate inputurile perceptuale "sunt reprezentate în dimensiunea acțiunii lor corespondente". Spațiul mișcării este conceput ca un câmp continuu, activarea relativă a unei anumite locații fiind interpretată ca înălțime a unei curbe în acest spațiu. La rândul ei, activarea este interpretată ca însemnând "parametrii de mișcare necesari pentru a îndrepta mâna către o anumită locație a țintei, A sau B", această activare fiind continuă între cele două locații. Mișcarea mâinii apare doar când activarea depășește un anumit prag critic. Înaintea probei, există o probabilitate egală de a atinge oricare din cele două ținte (ceea ce face ca, la început, sugarii să le atingă aleatoriu sau să nu le atingă deloc). Câmpul decizional al mișcării evoluează în timp, activările schimbându-se până când reușesc să aibă valoarea pragului pentru care apare o decizie. Antrenarea în atingerea numai a uneia dintre ținte prin ascunderea unei jucării în acel loc face ca acest câmp să evolueze astfel încât se ajunge la o activare a parametrilor specifici deciziei de a atinge locația A, ceea ce face ca probabilitatea unei mișcări în această direcție să fie dependentă de timp. Factorii care contribuie la decizie sunt multiplii, schimbându-și valorile în timp, gradual, și sunt cuplați dinamic, astfel încât orice modificare a unuia dintre ei influențează decizia locației care va fi atinsă. În acest fel, este de înțeles puternica dependență de context a rezultatelor acestei probe, care este o trăsătură caracteristică a așa numitei sarcini A-non-B. Se sugerează că cea mai mare implicare o au următorii factori: *inputul continuu al sarcinii* (cutia unde se ascunde jucăria și locațiile acesteia, care pot diferi ca pregnanță), *inputul specific* (indiciul mișcării capacului unei cutii), adică un input tranzient care trebuie memorat, ceea ce face ca, ulterior, să fie implicat și inputul memoriei. Actul generat inițial sub influența inputului sarcinii și al celui specific este și el memorat, contribuind la *inputul memoriei*. Repetând acest act prin atingerea locației A, memoria lui se întărește, ceea ce din punct de vedere dinamic înseamnă creșterea stabilității și puterii sale atractive. Consecința posibilă este aceea că, atunci când inputul tranzient se schimbă, fiind ridicat capacul de la locația

B, după ce efectul acestui input scade, câmpul decizional este dominat de inputul de memorie al actului atingerii locației A, ceea ce va duce la eroarea unei acțiuni perseverative. Prin urmare, explicația erorii ar fi competiția dintre inputul tranzient și inputul care este cel mai persistent din memorie. Concluzia lui Thelen (2003) este că eroarea se bazează pe motivație, pe memoria de scurtă durată și pe cea de lungă durată și pe inputul vizual imediat. Ea evidențiază însă și încorporarea cogniției, pentru că memoria acțiunilor conține deopotrivă percepțiile mișcărilor de atingere, ca și locațiile specificate, ea devenind parte a următoarelor acțiuni.

Datele experimentale (Simth et al., 1999, în Thelen, 2003) vin în sprijinul acestei explicații, arătând că eroarea dispare la mici variații în condițiile de testare, aparent nesemnificative: schimbarea posturii copiilor înainte de încercarea B prin ridicarea în poala părinților sau atârnarea la mâna sugarului a unei greutăți de 100% din greutatea corporală în loc de una de 75% din masa corporală (date obținute de Dördrich et al. care sunt citate de Thelen, 2003). Un ultim aspect care necesită o explicație dinamică este motivul pentru care eroarea A-non-B apare doar la sugari. După cum arată Thelen (2003), justificarea este similară, oarecum, cu cea piagetiană, conform căreia un "copil nu se poate despărți de modul în care tocmai a acționat" sau cu ce dată de Diamond (1990, în Thelen 2003), care presupune că sugarii sunt incapabili să inhibe un răspuns dominant. Totuși, interpretarea dinamică elaborează astfel de idei, dezvoltându-le în noi direcții. Conform acesteia, copiii nu ar putea "să ajusteze în mod flexibil cuplările sistem nervos-corp-mediu pentru a izola planul mintal al locației pe care trebuie să o atingă de memoria acțiunii anterioare" (Thelen, 2003). Această inabilitate e pusă de Thelen (2003) fie pe seama unei dinamici mai lente a memoriei (ceea ce face ca influența unor acțiuni trecute să se prelungească în mod excesiv), fie pe seama unei decizii mai lente (ceea ce ar facilita ca inputul memoriei să își exercite influența), fie pe seama unei deficiențe a memoriei de scurtă durată (care nu lasă ca inputul tranzient să devină "potent").

Cu toate că nu fac apel la conceptele TSDN, studiile inițiate de Schanck (1999) asupra a ceea ce el a numit memorie dinamică se apropie, din multe puncte de vedere, de o viziune din perspectiva TSDN a proceselor mintale prin concepția de bază și rezultatele obținute. Autorul citat mai sus provine dintr-o tradiție de cercetare, cea computațională simbolică, care, în multe privințe, se situează pe poziții opuse unei abordări dinamice, ceea ce explică de ce, în teoria sa, se mai păstrează încă o

separare netă între structură şi funcţie. Cu toate acestea, el are şi multe intuiţii specifice unei abordări dinamice.

Mai precis, Schanck (1999) susţine că există două tipuri de entităţi ale memoriei. Entităţile din primul tip sunt structurile de memorie, cele care conţin informaţii specifice, definite în termenii diferenţelor faţă de o normă a structurii respective, numite de el şi *scene*, constituind contexte fizice care pot servi ca bază pentru o reconstrucţie. Entităţile din cel de-al doilea tip sunt cele care organizează structurile de memorie, fiind structuri organizatoare, pe care le numeşte *scenarii*. Acestea servesc la organizarea scenelor şi furnizează un set de indicii pentru căutarea şi montarea unui scenariu adecvat. Totuşi, viziunea pe care are Schanck (1999) a dezvoltat-o asupra scenariilor diferă de cea pe care a avut-o când a introdus pentru prima dată constructul, în anii '80 ai secolului trecut. El specifică faptul că scenariile trebuie să fie structuri de memorie dinamice, adică nu sunt structuri de date care să nu se poată schimba. Acest lucru înseamnă că este necesar să existe o legătură între evocare şi prelucrarea informaţiei. De aceea, el specifică, de exemplu, că scenariul pentru restaurant trebuie să conţină amintiri specifice, dar, în plus, trebuie să fie capabil să integreze noi episoade, procesate cu ajutorul său. În concepţia sa, un scenariu e o colecţie de amintiri specifice organizate în jurul unor puncte comune. El susţine că şi-a dat seama că e nevoie de o nouă concepţie asupra scenariilor pentru că nu e posibil să se specifice ce anume conţine un scenariu, adică ce face parte din el şi ce nu. Formulând altfel, el nu crede că scenariul este o structură de date a memoriei semantice care e "separată de viaţă, de respiraţie, de amintiri episodice". Elementele unor episoade care sunt identice sunt tratate ca o unitate, ca un scenariu, iar episoadele ulterioare, care diferă parţial faţă de scenariul format, vor fi ataşate părţii din scenariu cu care se aseamănă. Părţile care diferă vor fi stocate în termenii diferenţelor lor faţă de acel scenariu. Modificarea vechilor structuri se va face tocmai pe baza acestor nepotriviri dintre experienţele noi şi scenariile vechi, care vor fi transformate, devenind, astfel, nişte structuri dinamice. Prin urmare, Schanck (1999) susţine că un scenariu este un organizator activ al memoriei. El se apropie şi mai mult de o abordare dinamică atunci când afirmă că structurile memoriei episodice şi structurile de procesare sunt, de fapt, identice.

În ceea ce priveşte teoretizarea asupra memoriei dinamice în general, şi nu doar în ceea ce priveşte scenariile ca structuri de memorie dinamice, în partea introductivă a lucrării sale, Schanck (1999) defineşte

o memorie dinamică ca "un sistem flexibil, deschis" şi apoi ilustrează această idee printr-o comparaţie. El arată că memoria dinamică nu e ca o bibliotecă în ceea ce priveşte modul de stocare a cunoştinţelor, pentru că aceasta din urmă îşi schimbă foarte greu fişierele şi cataloagele, având un sistem fixat de categorizare a informaţiilor, foarte puţin flexibil. Ceea ce Schanck (1999) consideră a fi lucrul cel mai important este că pentru a le schimba e nevoie de o intervenţie exterioară, pentru că ele nu se schimbă singure. Comparativ, o memorie dinamică e "una care îşi poate schimba propria organizare când noi experienţe o cer". Prin urmare, Schanck (1999) sugerează că o memorie dinamică e prin natura sa un sistem de învăţare. Un alt punct de apropiere dintre Schanck (1999) şi o abordare dinamică este acela că el, susţinând importanţa raţionamentului care se bazează pe cazuri, a ajuns să recunoască faptul că "nici un sistem care e constituit doar din reguli nu va funcţiona în modelarea minţii, regulile necaracterizând în mod adecvat procesele minţii".

Astfel de formulări, ca cele citate mai sus, sunt compatibile cu cele ale susţinătorilor ipotezei dinamice care cred că reprezentările din memorie şi învăţarea sunt efectul unor sisteme dinamice complexe încorporate, care se autoorganizează prin interacţiunea cu sistemele din mediu, având o dinamică proprie, intrinsecă. Acest lucru le conferă câteva proprietăţi specifice, printre care şi acelea de a putea fi active şi dinamice, astfel încât ele se vor schimba sau le vor schimba pe altele în virtutea unei dinamici proprii, fără să existe necesitatea unei intervenţii exterioare sub forma unei manipulări prin reguli. De aceea, procesele de memorare şi cele de prelucrare a informaţiei vor tinde să se confunde. Totuşi, abordarea lui Schanck (1999) este mai mult una descriptivă şi, mai ales, generală, fără a specifica exact cum e posibil ca ceva să aibă o structură şi, în acelaşi timp, să fie ceva dinamic şi organizator. Intuiţiilor sale pare să le lipsească instrumentele conceptelor dinamicii neliniare care l-ar fi ajutat să şi le precizeze. Teoria sa are însă meritul că reuşeşte să semnaleze faptul că, la un alt nivel, al stimulilor mai complecşi, al scenelor şi evenimentelor mai complicate, se reîntâlneşte aceeaşi problematică a rolului dinamicii în formarea reprezentărilor de memorie ca şi la nivelul stimulior perceptuali. De exemplu, se poate sugera că integrarea unor noi episoade sau scene în cadrul unui scenariu ar constitui un fenomen similar celui al impulsului reprezentaţional, menţionat mai sus.

Din cele prezentate până acum, se poate constata că există dovezi empirice pentru a susţine o interpretare din perspectiva TSDN a procese-

lor de memorie, chiar dacă ele ar putea fi considerate încă insuficient de concludente. În favoarea continuării cercetării posibilității de a aborda fenomenele memoriei din punctul de vedere al dinamicii neliniare ar pleda și avantajele pe care o astfel de abordare le-ar avea ca teorie explicativă.

De exemplu, Reese (2002) evidențiază că ar fi posibil ca ea să aibă o contribuție importantă la înțelegerea dezvoltării memoriei autobiografice. Principalul punct forte al său, în concepția autorului citat, ar fi acela că ea permite integrarea influențelor biologice, sociale, lingvistice și cognitive asupra memoriei autobiografice și existența unor multiple niveluri de explicație. Un alt punct forte ar fi acela că oferă posibilitatea depășirii vechilor dihotomii, cum ar fi cea între rolul factorilor exogeni și endogeni în dezvoltarea memoriei autobiografice sau cea dintre schimbarea continuă și cea discontinuă. Reese (2002) menționează exemplul schimbării calitative, având o natură discontinuă, care apare în memoria autobiografică în jurul vârstei de trei ani, ca urmare a unor schimbări relativ continue, cantitative, în ceea ce privește nivelul de înțelegere a propriei persoane, limbajul expresiv, tipul de atașament. Toate acestea interacționează dinamic, contribuind la saltul calitativ.

Un alt autor, Mandel (1995), observă că luarea în considerare a tezelor unei abordări dinamice a proceselor psihice aruncă o nouă lumină asupra ideii avansate de Tulving (1985, în Mandel, 1995) a unor sisteme multiple de memorie. Potrivit lui Mandel (1995), acesta s-a bazat în emiterea ipotezei pe independența stocastică dintre efectele de amorsare și performanța în sarcinile de recunoaștere. Dar, în ipoteza unei dinamici neliniare de tip haotic a sistemelor psihice, e posibil să apară, datorită sensibilității la condițiile inițiale, o independență stocastică sau o lipsă de corelație în măsurătorile asupra unor comportamente care au la bază un același proces și nu mai multe, cum s-ar putea deduce din lipsa de corelare a datelor. Prin urmare, fenomenul sensibilității la condițiile inițiale dat de neliniaritatea proceselor de memorie ar furniza o alternativă la interpretarea datelor pe care s-a întemeiat distincția între mai multe sisteme de memorie (Mandel, 1995).

Un model dinamic al memoriei s-a propus și pentru a explica efectele surprinzătoare ale unei metode de psihoterapie mai puțin convenționale, folosită mai ales în sindromul tulburărilor de stres posttraumatic, numită EMDR (în engleză: "Eye Movement Desensitization and Reprocessing", prescurtat: EMDR). Ea a fost concepută de Shapiro (1989, în Flint, 1996) și are ca scop desensibilizarea și reprocesarea

amintirilor cu efecte traumatice prin intermediul unor mişcări oculare ritmice induse clientului de către terapeut în timp ce acesta evocă vizual scenele cu încărcătură afectivă negativă sau senzaţiile corporale generate de acestea. Se susţine că numai prin intermediul acestei proceduri extrem de simple şi nespecifice se pot obţine schimbări de natură perceptuală, cognitivă şi afectivă a modului în care este amintită trauma şi, astfel, şi dispariţia simptoamelor (Shapiro, 1989, în Flint, 1996). Explicaţia dinamică pe care o oferă Flint (1996) este următoarea. Menţinerea atenţiei pe amintirea traumatică face ca, în creier, să apară un patern unic la nivelul dinamicii activării neuronale, corespunzătoare unui atractor foarte puternic. Stimularea vizuală perceptuală simultană prin mişcarea ritmică a degetelor terapeutului ar induce o schimbare prin bifurcaţie a acestei dinamici evocate de amintirea traumatică. Ea ar conduce la o reducere a trăirii afective asociate ei, chiar dacă, uneori, iniţial, reprezentarea evenimentului traumatic ajunge să fie chiar mai detaliată ca înainte, accentuând trăirea afectivă. Totuşi, în final, se atinge un maxim, după care, prin continuarea repetiţiilor, trăirea afectivă aproape dispare. Pentru că e vorba de un sistem haotic, atractorii amintirii traumatice pot fi schimbaţi datorită unui input prezent senzorial relativ minor, care e neutru sau pozitiv, cum sunt mişcările oculare şi imaginea mişcării ritmice a degetelor terapeutului. În cele din urmă, experienţa prezentă este ataşată, prin întărire, componentelor senzoriale (vizuale, olfactive, gustative sau musculare), cognitive şi afective care aparţineau amintirii traumatice, formându-se, practic, un nou atractor, o nouă reprezentare a evenimentului în memorie.

O altă interpretare posibilă, din perspectivă dinamică, a fenomenului amorsajului (în engleză: "priming"), decât cea menţionată anterior, este sugerată de Ferber (1996). În concepţia lui, efectele amorsajului apar când sistemul este deplasat în spaţiul stare prin influenţa stimulului amorsă către atractorul stimulului ţintă, apropiind starea sistemului de acesta, ceea ce face ca, la prezentarea stimulului ţintă, el să ajungă mai repede în starea atractoare corespunzătoare ţintei.

Încercând trasarea unei schiţe a unei abordări dinamice a proceselor de memorie aşa cum se conturează ea actualmente pe baza studiilor teoretice şi empirice mai sus prezentate, se constată următoarele. În ceea ce priveşte natura reprezentărilor mintale care se formează prin intermediul proceselor de memorie există mai multe curente principale de opinie, chiar dacă e greu ca perspectiva unui anumit autor să fie încadrată, în mod complet, în unul din ele.

Unii autori neagă necesitatea menținerii noțiunii de reprezentare mintală ca imagine analogă a unui stimul extern sau ca o entitate discretă, statică, localizabilă, independentă de procesele senzorial-motorii, care mediază relația dintre stimul și răspuns. Cei mai mulți dintre ei fac parte din așa numita abordare a cogniției încorporate, care își are originea în inteligența artificială, ca o teoretizare a comportamentului roboților proiectați pe baze comportamentale. Potrivit acestora, comportamentul este explicabil exclusiv pe baza cuplării și interacțiunii sistemelor senzoriale și motorii între ele și cu mediul, ceea ce va conduce la emergența, prin procese de autoorganizare, a unei dinamici de tip superior. Dar, la nivelul acesteia, ei nu găsesc ceva care ar corespunde descrierii clasice a reprezentării mintale și nici nu văd ce rost ar avea să găsească un astfel de corespondent. Ilustrativă pentru această poziție este afirmația lui Clark (1997, în van Rooij, Bongers, Haselager, 2000), potrivit căreia un sistem dinamic reprezintă lumea în întregul său, fără însă să aibă nevoie pentru aceasta de un transfer intern a nimic din ceea ce ar semăna cu ceea ce se numește, în mod obișnuit, reprezentare internă. În consecință, și procesele memoriei de stocare, evocare și recunoaștere, în definiția lor tradițională, nu și-ar mai avea rostul. În lumina acestei concepții, memorarea informației se confundă cu prelucrarea ei. Totuși, nu înseamnă că în cadrul unei astfel de abordări se neagă rolul informației furnizate de un stimul trecut sau de o stare trecută a sistemului în determinarea comportamentului viitor. Se acceptă că este posibil ca informația furnizată de un stimul să fie păstrată într-o formă dinamică, prin modificarea interacțiunilor din cadrul unui sistem, a legii sale dinamice, ceea ce echivalează și cu schimbarea structurii atractoare a spațiului fază. Dar ar fi impropriu ca acest proces să fie numit stocare, datorită imaginii implicite care e asociată acestui termen, de manipulare spațială a unei entități fizice discrete. Informația externă influențează răspunsurile comportamentale nu prin reproducerea, copierea ei într-un mediu intern, ci prin modularea unei dinamici intrinseci existente în acest mediu. E vorba de o declanșare a unui răspuns din partea unui sistem și nu de generarea unui comportament specific al acestuia (Lawson și Lewis, 2004). Motivul este acela că efectul informației externe nu va fi unul univoc, ci va depinde de starea și regimul dinamic în care se găsește sistemul pe care îl influențează. De asemenea, în cadrul unui sistem dinamic, deși o stare a trecut, nemaifiind actuală și nefiind păstrată nicăieri la modul fizic, ea continuă să influențeze comportamentul sistemului un timp nedefinit, la

fel cum se întâmplă cu reprezentările de memorie în teoriile clasice, atunci când ele sunt reactualizate. Se discută, cel mult, de o păstrare a sa în spațiul stare virtual definit de dinamica unui sistem dinamic concret. De aceea, o fostă stare internă a sistemului psihic continuă să-i influențeze comportamentul, fără ca să fi fost stocată la modul fizic sau actualizată printr-un proces de evocare.

Nici în ceea ce privește înțelesul de mediator între stimul și răspuns, termenul de reprezentare nu și-ar avea sensul în cadrul tipului de abordare dinamică aflat în discuție. Pentru susținătorii săi, chiar și noțiunile de stimul și răspuns nu pot fi bine definite, constituind idealizări. La fel de bine s-ar putea spune că există, de fapt, numai reprezentări la momente de timp diferite, corespunzând unor stări din evoluția unei dinamici psihice: reprezentări stimul sau reprezentări răspuns, care vor deveni, la rândul lor, reprezentări stimul. Atunci s-ar ajunge la o definiție circulară: reprezentarea este ceea ce se interpune între reprezentări.

Chemero (2001) aduce ca argument suplimentar în sprijinul antireprezentaționalismului unora dintre adepții modelelor dinamice ale cogniției faptul că o relație regulată dintre comportament și o anumită parte a mediului nu implică existența obligatorie a unui "analog intern al acelei părți de mediu" care să ghideze comportamentul. A afirma așa ceva ar echivala, după părerea sa, cu a spune că atracția gravitațională dintre două corpuri de mărimi similare implică faptul că ele trebuie să se reprezinte reciproc. Prin urmare, nici el nu consideră necesar să se intercaleze mediatori interni pentru aspecte ale mediului sau ale schemelor acțiunii ca reprezentări interne, pentru că nu ar avea ce media, de vreme ce organismul și mediul nu sunt și nu pot fi separate, fiind cuplate dinamic.

În cadrul acestui prim curent de gândire s-ar distinge o variantă susținută de unii autori care, deși admit că nu e nevoie de conceptul de reprezentare pentru a explica procesele cognitive, furnizează posibile argumente pentru care ea ar putea fi menținută într-o interpretare dinamică. Un exemplu ar fi cel a lui Portugali (2002), care subliniază că ceea ce s-ar numi reprezentare într-un sistem dinamic ar fi ceva ad-hoc, specific unei sarcini, care emerge din dinamica proceselor cognitive. Deși acest ceva nu ar fi necesar să fie numit reprezentare, ar putea fi, totuși, etichetat astfel, în virtutea faptului că la nivelul său "se împachetează informație semantică care poate fi măsurată" folosindu-se metoda shannoniană (Portugali, 2002). În acest caz, termenul de reprezentare e considerat cu înțelesul său minimal de simplu suport pentru informație.

La fel, Bickhard (1996) descrie o viziune interacționistă asupra reprezentărilor, acestea fiind asociate unor particularități specifice ale unui sistem care interacționează cu mediul său și nu unor forme particulare de corespondență cu aspecte din mediu. Stările în care o interacțiune cu un anumit mediu se stabilizează vor defini, în mod implicit, diversele clase (tipuri) de mediu cu care sistemul interacționează, permițându-i să le diferențieze. Diferențierea va fi una implicită, pentru că nu se va forma o reprezentare care să aibă un conținut reprezentațional pentru caracteristicile unui anumit mediu, care să fie distins în raport cu altele. Va fi vorba numai de o reprezentare fără un astfel de conținut, care are doar proprietatea de a conduce la o anumită stare (sau mulțime) de stări finale și nu la altele (conținutul să fiind, de fapt, constituit din indicații pentru interacțiuni potențiale viitoare). Totuși, diferențierea implicită se bazează pe caracteristicile mediilor diferențiate, pentru că ele determină o anumită stabilizare și nu alta, ceea ce va crea impresia existenței unei corespondențe între aceste caracteristici și un conținut reprezentațional postulat. De aceea, ceea ce Bickhard (1996) numește diferențiator interactiv oferă un mod de corespondență, după cum se cere de o reprezentare de tip codare. Astfel de reprezentări generate interactiv ar satisface și o altă proprietate minimală a unei reprezentări, aceea de a putea fi falsă sau falsificabilă. Ele îndeplinesc această cerință prin aceea că, fiind indicații interne ale sistemului cu privire la interacțiuni viitoare posibile, se vor putea valida în funcție de interacțiunile care se vor produce în mod real. Se va evita astfel circularitatea verificării reprezentărilor prin reprezentări, la care se ajunge dacă reprezentările sunt definite în baza corespondenței sau izomorfismului cu ceva din mediul extern. Într-o astfel de viziune, stimulul este văzut doar ca un pretext, o ocazie pentru a apărea reprezentarea ca eveniment pur intern. Există doar o corespondență dată de legătura temporală între evenimente. Un input complet nespecific poate da naștere unei organizări interne care nu are nici o asemănare cu organizarea inputului extern. Concluzionând, în viziunea lui Bickhard (1996), orice reprezentare este în mod necesar "încorporată într-un agent capabil de interacțiune", "stabilind expectații în legătură cu viitoare interacțiuni", ceea ce înseamnă că conținutul reprezentațional se formează prin conectarea rezultatelor anterioare, care au fost testate prin interacțiuni, cu cele potențiale. Un astfel de conținut nu va fi însă unul inițial explicit, care să indice proprietăți specifice ale mediului, ci doar unul implicit, pentru că în baza lui se diferențiază mediile. Un conținut explicit este întrevăzut,

totuşi, de Bickhard (2000, în Svensson şi Ziemke, 2005) ca fiind posibil atunci când indicaţiile unor rezultate viitoare servesc generării unor noi indicaţii, un tip de medii fiind indicate a fi un alt tip de medii.

O poziţie asupra reprezentării similară cu cea de mai sus este formulată şi de Rosenberg şi Anderson (2004, în Svensson şi Ziemke, 2005), numită teoria ghidării. În concepţia acestora, pentru ca un semn să fie o reprezentare nu e important dacă el "covariază, este izomorf sau în conexiune cauzală" cu referentul său, ci dacă este utilizat de către subiectul cunoscător ca şi ghid pentru a determina ce acţiune să execute. Acest lucru ar însemna că reprezentarea este ceva ce "agentul face pentru a realiza o anumită stare", fiind astfel strâns legat de starea care se aşteaptă a fi realizată.

Steels (2003) crede şi el că reprezentările ar trebui concepute a fi, în mod esenţial, ca fiind organizatoare ale acţiunii şi nu modele abstracte ale unui anumit aspect al realităţii. El îşi precizează poziţia pornind de la o analogie cu procesul dinamic prin care se formează o cărare care traversează o pajişte. La început, există o fază în care mai multe procese care apar în mod firesc (de exemplu, câţiva oameni care traversează o pajişte) vor genera, ca un "efect secundar", o structură fizică nouă (de exemplu, o zonă unde iarba este mai rară). Următoarea fază este aceea în care se instalează un feedback pozitiv, astfel încât structura fizică se stabilizează, noua structură organizând, apoi, din ce în ce mai mult, ea însăşi, procesele care au generat-o. În cazul dat spre exemplu, cu cât mai puţină iarbă rămâne pe cărare, cu atât mai folosită va fi de către oameni, astfel încât, în final, toţi o vor folosi, iar dacă un grădinar va interveni marcând cărarea, îi va întări acest rol. Steels (2003) observă că ceea ce se obţine, cărarea, are o "dimensiune colectivă", pentru că o mulţime de oameni au participat la formarea şi la utilizarea sa, ceea ce ar însemna că această cărare a devenit un "vehicul de comunicare". Pe de o parte, proprietăţile sale fizice (apariţia ei) semnalează că aceasta este o cale de a traversa pajiştea, iar, pe de altă parte, oamenii care o utilizează semnalează, indirect, altora că aceasta este calea obişnuită de a trece peste pajişte. Când grădinarul o şi marchează, el comunică şi mai explicit că ea este o cale de folosit. Astfel, după părerea lui Steels (2003), cărarea este similară cuvintelor unui limbaj. Ulterior, reprezentările care emerg din comunicare vor fi folosite şi pentru alte sarcini, inclusiv sarcini care presupun o cogniţie de nivel superior: planificare, gândire, memorie.

O ultimă teorie care s-ar încadra *in extremis* în varianta mai sus precizată a primului curent de opinie cu privire la reprezentarea mintală

este aceea formulată de Dale şi Spivey (2005). Ei pornesc de la remarca faptului că în ştiinţele cognitive nu există nici o teorie sau definiţie general acceptată asupra reprezentării, particularităţile fiecărui tip al său fiind specifice rolului pe care această noţiune îl joacă într-un anumit model explicativ. Prin urmare, şi dezbaterile care au apărut în psihologia cognitivă cu privire la existenţa, necesitatea, utilitatea şi proprietăţile reprezentărilor mintale ar fi, în mare parte, fără sens, de vreme ce nu există o bază comună de discuţie, părţile în polemică inventând mai mult poziţiile adverse, astfel încât să fie mai uşor de învins, caricaturizându-le sau deformându-le. De asemenea, printre cei care admit ideea de reprezentare mintală nu există un acord în ceea ce priveşte trăsăturile definitorii fundamentale ale acesteia.

Pe Dale şi Spivey (2005) i-au preocupat, în particular, trăsăturile spaţio-temporale ale reprezentărilor mintale, în jurul cărora disputa clasică este aceea între cele de tip "discret-simbolic" (acestea fiind structuri informaţionale computaţionale discrete în timp şi spaţiu care pot fi manipulate prin procese algoritmice logice) şi cele de tip "continuu-distribuit" (implicând reprezentări distribuite în spaţiu şi în timp, care se referă la stări gradate, care conţin configuraţii informaţionale probabilistice). Reprezentările "continuu-distribuite" pot fuziona cu alte reprezentări, fiind greu identificabile, în vreme ce cele "discret-simbolice" sunt separate una de alta, distingându-se în mod clar. Părerea lui Dale şi Spivey (2005) este că cele două poziţii pot fi comparate, şi chiar integrate, dacă formatele lor reprezentaţionale sunt traduse (formalizate, matematizate) şi discutate în termenii TSDN şi ai teoriei dinamicii simbolice, care se bazează pe TSDN. Ei întrevăd posibilitatea unei sinteze epistemologice care ar decurge din puterea descriptivă a TSDN şi puterea computaţională a dinamicii simbolice. Opinia lor se întemeiază pe observaţia că formularea în limbajul obişnuit a unor teorii aflate în competiţie tinde să conducă la polemici care au puţine şanse de soluţionare, fiind dificil să se precizeze dacă tezele susţinute de fiecare parte se exclud reciproc sau sunt echivalente din punctul de vedere al extensiei termenilor folosiţi.

Rezolvarea pe care o propun Dale şi Spivey (2005) este aceea a găsirii unui cadru formal matematic comun, care ar oferi avantajul unei mai mari rigurozităţi în evaluarea comparativă. Această poziţie diferă de cea dominantă la ora actuală, în care formalizarea aleasă are, după cum subliniază Dale şi Spivey (2005), o afiliere anterioară cu unul din cele două cadre teoretice: modelele producţiilor sau cele conexioniste, distor-

sionând demersul în favoarea teoriilor în care își au sursa. Terenul comun propus de Dale și Spivey (2005) ca necesar pentru a compara stările simbolice cu procesele dinamice ca teorii ale reprezentării este acela al dinamicii simbolice. Conform autorilor anterior citați, aceasta oferă posibilitatea de a înțelege simultan natura continuă în timp și puterea computațională a sistemelor dinamice, ceea ce reprezintă un lucru util, de vreme ce există dovezi care susțin ideea că există procese continue chiar și pentru sarcini discrete, categoriale. Conform acestora, chiar și deciziile s-ar datora unei stabilizări graduale a interacțiunii dintre reprezentări neuronale parțial activate, aflate în competiție (de exemplu, Schall, 2000, în Dale și Spivey, 2005). Pe de altă parte, un sistem dinamic continuu metastabil, care trece de la un atractor la altul, va produce secvențe în care vor apărea șiruri de simboluri identice care indică staționarea temporară într-un anumit atractor, ceea ce va face ca outputul acelui sistem să fie discret reprezentațional, dar care vor evidenția schimbarea în timp a stărilor sale. Un avantaj al simbolicii dinamice este acela că descrierile pe care le oferă ar putea permite explicarea capacităților de prelucrare a informației ale unui sistem dinamic prin intermediul analizei secvențelor de simboluri pe care acesta le generează. Contribuțiile cele mai remarcabile în această direcție sunt aduse de Crutchfield și Young (1989, în Dale și Spivey, 2005), care au investigat calitățile computaționale ale sistemelor dinamice neliniare, încercând să le cuantifice. Astfel de proprietăți au fost confirmate și evidențiate și prin simulări, utilizându-se rețele neuronale recurente (interpretate dinamic), care au fost capabile să învețe limbaje artificiale independente de context și să clasifice noi enunțuri, formate în baza gramaticilor acelor limbaje, printr-un proces de decizie care a fost apreciat ca similar unei simbolici dinamice (de exemplu, Pollack, 1991 sau Tabor, 2001, în Dale și Spivey, 2005). Rețelele astfel antrenate, spre deosebire de cele antrenate cu limbaje obișnuite, au prezentat efecte de intermitență, caracteristice regimului unui sistem dinamic când se află la limita haosului. Remarca finală a lui Dale și Spivey (2005) este aceea că, de vreme ce sistemele dinamice sunt, dintr-un anumit punct de vedere, identice cu anumite dinamici simbolice, există o echivalență matematică a celor două tipuri de formate reprezentaționale: discret și continuu, nejustificându-se interpretarea lor ca fiind opuse.

Autorii care se înscriu într-un al doilea curent de opinie pledează pentru menținerea noțiunii de reprezentare mintală, dar în sensul ei de stare cu rol mediator între stimuli și răspunsuri, care dispune de o

stabilitate suficientă pentru ca ea să devină sesizabilă la nivel conştient. Cei mai mulţi dintre ei susţin că, la nivelul noţiunilor TSDN, corespondentul său cel mai potrivit ar fi acela al noţiunii de atractor într-un spaţiu stare reprezentaţional dinamic. Ei optează pentru această noţiune pentru că atractorul reprezintă stări sau o regiune de stări în care dinamica unui sistem e stabilă, pentru că la nivelul său, prin convergenţa traiectoriilor, se produce o reducere a gradelor de libertate existente în sistem, o organizare a traiectoriilor din bazinul său de atracţie. Diferenţe există doar în ceea ce priveşte tipul sau tipurile de atractori pentru care se admite că ar putea avea funcţii de reprezentare (punctuali, ciclici, toroidali, haotici, de tip Milnor). Unii autori consideră că, pentru reprezentarea relaţiilor, potrivită ar fi tranziţia dintre atractori. Procesele de recunoaştere sau evocare sunt interpretate, în general, ca evoluţie către un astfel de atractor, dacă un stimul plasează sistemul cognitiv în mod corespunzător în bazinul său de atracţie. Înregistrarea sau ştergerea informaţiei se face prin schimbarea dinamicii spaţiului stare reprezentaţional (prin procese de cuplare dinamică). Datorită neliniarităţii procesului, se întâmplă să apară procese catastrofale sau schimbări calitative la nivelul reprezentărilor gândite ca atractori, prin producerea unor modificări minore ale parametrilor de control ai dinamicii spaţiului stare reprezentaţional. Ca atractori, reprezentările ar fi privite ca active, pentru că au puterea de a atrage traiectoriile din sistem şi de a intra în competiţie dinamică cu alţi atractori. De asemenea, prin stabilitatea dinamicii lor intrinseci (de stare sau structurală), care le conferă rezistenţă la perturbaţii, li se poate atribui proprietatea autonomiei.

Reprezentările mintale pot fi dinamice din două puncte de vedere. În primul rând, pentru că sunt stări care sunt doar stabile, şi nu statice, ale unui sistem dinamic şi pentru că graniţa bazinului lor de atracţie poate să nu fie una bine definită în cazul unui spaţiu stare continuu. În al doilea rând, este posibil ca regiunile atractoare să fie deformate sau deplasate gradual, fără a-şi pierde identitatea, prin modificarea parametrilor de control din mediul dinamicii, ceea ce le conferă flexibilitate. Totuşi, nici în acest caz, astfel de reprezentări nu pot fi considerate a fi imagini izomorfe structural ale unor stimuli externi, ca o colecţie organizată de trăsături ale acestora. Un atractor dinamic este capabil să stocheze informaţia unui stimul complex, fără ca, simultan, să se stocheze, în mod independent, şi informaţia legată de trăsăturile sale individuale. Ca

urmare, e posibil ca o percepție și o memorare globale, indecompozabile, să le precedă pe cele analitice, să nu fie condiționate de ele.

Se poate afirma că, potrivit unei astfel de abordări dinamice, care acordă statut reprezentațional atractorilor, a reprezenta nu înseamnă a forma o imagine interioară analogă a ceva exterior, ci a reproduce efectul unor influențe externe pe plan intern, în absența acestor influențe. Acest lucru este realizabil pentru că o stimulare internă evocatoare conduce la un același atractor ca o stimulare externă, dacă acestea se vor afla într-un același bazin de atracție. Prin urmare, în concepție personală, reprezentarea prin atractor ar putea fi definită ca o transpunere în mișcare (schimbare) internă a unei mișcări (schimbări) externe. Mintea noastră trebuie să fie dinamică pentru a primi informații, tocmai pentru că informația este, în mod esențial, schimbare și este transmisă ca schimbare. Situația e analogă cu aceea a unui tenisman care trebuie să se miște pe loc pentru a găsi repede postura potrivită pentru a primi și lovi mingea a cărei traiectorie e imprevizibilă (Combs, 1995). În cadrul acestui curent de gândire există susținători ai ideii că reprezentările trebuie să fie interne, definite exclusiv la nivel psihic, iar alții care afirmă că acestea se pot defini și la nivelul interfeței dintre organism și mediu, ca structuri atractoare emergente ale sistemului complex alcătuit prin cuplarea dinamică a acestora. De asemenea, există autori care sunt de părere că stocarea informației în forma reprezentărilor are loc doar în sisteme complexe disipative, aflate la limita haosului, atunci când apar fenomenele de autoorganizare. Reprezentările ar fi, prin urmare, nu stări stabile, ci metastabile, ale unui sistem dinamic psihic, aflat departe de echilibru, în care el este menținut prin fluxul extern de energie și informație. Ele ar fi echivalente cu niște vârtejuri ale fluxului informațional, care vor persista câtă vreme vor fi alimentate senzorial sau de către alte reprezentări, tot astfel precum vârtejurile în apă se mențin atât timp cât continuă să existe curgerea apei.

Ideea de a echivala reprezentările cu atractorii este în favoarea unei viziuni mai contructiviste asupra reprezentărilor mintale. Pentru Svensson și Ziemke (2005), o poziție constructivistă în această privință ar însemna să se abandoneze definirea tradițională a reprezentărilor ca substitute pentru ceva din mediul extern și să fie concepute doar ca stări sau procese interne, construite de un subiect, care "au puterea de a realiza un comportament adaptativ", ceea ce înseamnă că nu pot fi, în general, "reprezentări", ci doar prezentări.

La nivel speculativ, consider că s-a putea propune o variantă a acestui curent de opinie în care s-ar păstra noțiunea de reprezentare ca și element intern al unui sistem psihic, renunțându-se însă la atributul de stabilitate. Într-un astfel de context, pentru orice element al unui sistem dinamic definit la nivelul de organizare al psihicului (variabilă dinamică, lege dinamică, stare în spațiul fază, traiectorie, atractor, bazin de atracție, repulsor, punct șa, bifurcație etc.) ar fi posibil să se definească o funcție de reprezentare specifică. Astfel, reprezentările inconștiente ar fi stări instabile ale spațiului fază, adică stări de tranziție, traiectoriile sau bifurcațiile ar fi reprezentări pentru relații sau procese, repulsorii ar avea un rol în reprezentarea negației etc.

Un ultim curent de opinie este al acelor autori care nu fac referire la conceptele TSDN sau nu consideră necesar să o facă (apreciind fie că astfel s-ar obține doar o dublare terminologică, fie că aceste concepte sunt prea limitate pentru a exprima adevărata natură a reprezentărilor mintale), dar subscriu la idei cum sunt cele că reprezentările din memorie sunt dinamice, flexibile, active, autonome, capabile să interacționeze direct cu alte reprezentări, fără a fi necesară intervenția unor reguli externe de operare asupra lor. Poate că o metaforă potrivită pentru ele ar fi aceea a unui sistem ecologic de organisme psihice interne de diferite specii, care interacționează și se organizează în cadrul unor grupuri, fiind capabile de evoluție și "autopoieză".

Se poate remarca, în final, că opoziția static-dinamic în ceea ce privește reprezentările mintale nu este, totuși, una în mod necesar ireconciliabilă. Un argument în favoarea afirmației de mai sus ar fi acela că ceea ce e static sau dinamic depinde de scala temporală a unei observații. Prin urmare, nu ar exista reprezentări statice și altele dinamice, ci doar reprezentări cu dinamicitate diferită, pe scale temporale diferite. Un alt argument posibil ar fi acela că orice entitate definită, privită într-un context mai larg, este în mod necesar dual, adică este și statică și dinamică, în funcție de perspectiva adoptată asupra sa. O minge care sare pe un teren accidentat formează împreună cu acesta o singură entitate prin mișcarea sa, terenul fiind partea statică, iar mingea partea dinamică, forma mișcării mingii fiind o îmbinare a staticului cu dinamicul, pentru că înglobează relieful constant al terenului și posibilitățile dinamice ale mingii. La fel, într-un sistem dinamic, forma spațiului fază e terenul static, care are un relief topologic, o parte virtuală statică atemporală. Starea sistemului la un moment dat e mingea, partea actuală dinamică,

cea care poate evolua în timp, dar a cărei formă de evoluție va fi dată de partea statică. Mai mult, și dacă se acordă atenție celei mai obișnuite metafore pentru a descrie reprezentarea statică, aceea a unei imagini în oglindă, putem avea surpriza să constatăm că ea este una de tip dinamic. Această analogie e foarte rar analizată în semnificația sa completă. Se reține doar aspectul de corespondență (și acela incomplet, pentru că se trece cu vederea peste inversarea imaginii). De fapt, imaginea în oglindă este rodul unei stabilizări prin intermediul unei interacțiuni: undele luminii, fenomene dinamice, care pornesc de la corpul oglindit se intersectează, se cuplează pe retină, după ce au fost reflectate de oglindă. Prin urmare, reprezentarea în oglindă rezultă dintr-o interacțiune dinamică.

Interpretarea dinamică a procesului de categorizare și a reprezentărilor conceptuale

Pentru că procesele de categorizare sunt legate de cele de memorie, referindu-se, de fapt, la formarea reprezentărilor în memoria semantică, cele mai multe din remarcile făcute cu privire la interpretarea dinamică a acestora sunt valabile și pentru ele. De aceea, în cele ce urmează, vor fi prezentate numai acele contribuții ale unor autori care s-au referit în mod specific la dinamica reprezentărilor semantice.

Conceptele TSDN au pătruns în rândul cercetătorilor care studiază procesele de categorizare odată cu dezvoltarea aplicațiilor rețelelor conexioniste cu atractor de tip Hopfield. Prin intermediul acestora s-a încercat simularea proceselor de categorizare folosindu-se ca input exemplare ale unor categorii care erau descrise prin intermediul unor vectori de trăsături. Stabilizarea acestor rețele în atractori de tip punct fix a fost interpretată ca reprezentând procesul de formare a unor categorii pe baza exemplarelor prezentate, iar atractorii au fost considerați a corespunde conceptelor rezultate. Așa cum remarcă McRae (2004), rețelele cu atractor conexioniste continuă să fie folosite ca bază teoretică și ca teren de testare pentru teoriile categorizării din două motive principale. În primul rând, modul în care codează informația este unul care seamănă foarte mult cu cel natural, folosind statistica distribuției paternurilor, corelațiile dintre trăsăturile exemplarelor. De aceea, la întâlnirea cu un exemplar nou, vor putea să-l categorizeze în mod direct. În al doilea rând, simulările realizate cu astfel de modele, în care prin calcul se obțin

reprezentări în mod gradual în timp, au condus la intuiții surprinzătoare și la predicții care, în concepția autorului citat, nu ar fi putut fi obținute pe altă cale (mai ales în legătură cu timpii de reacție pentru diferite tipuri de categorizări și cu efectele leziunilor cerebrale asupra proceselor de categorizare).

Un exemplu de cercetare a categorizării care a îmbinat o astfel de abordare conexionist-dinamică cu una clasic experimentală este cea realizată de Sloman și Love (1998) cu privire la capacitatea de transformare (mutabilitate) a trăsăturilor unui concept. Încă din start, tema studiului lor are o rezonanță dinamică, mutabilitatea fiind interpretabilă ca stabilitate. Apoi, ei și-au pus problema în ce măsură această mutabilitate e condiționată de relațiile de dependență care există între trăsăturile unui concept, presupunând că o trăsătură va fi cu atât mai rigidă (mai puțin transformabilă, mutabilă) cu cât alte trăsături depind mai mult de ea. Se constată că modelul intuitiv pe care și l-au format în legătură cu un concept este acela care corespunde, în mare parte, definiției unui sistem dinamic: trăsăturile sunt văzute ca elemente variabile (cu grade diferite de stabilitate), între acestea există relații de dependență, care pot fi asimilate relațiilor de interacțiune, variabilitatea unui element depinde de relațiile sale cu restul elementelor. Diferența e că, față de un sistem dinamic, e vorba aici de o variabilitate definită, în primul rând, pe domeniul de exemplare, și nu de una în timp, în mod direct. Tipul acesta de variabilitate va depinde, însă, de interacțiunile dinamice dintre trăsături, fiind cu atât mai mare cu cât o trăsătură este mai puțin legată prin relații de dependență de altele. Pentru a interpreta rezultatele obținute în cadrul experimentelor de autorii mai sus citați, aceștia au construit o rețea conexionistă cu atractori. Ideea de la care au pornit a fost aceea că un concept "ar putea fi cel mai bine considerat ca un atractor într-un spațiu stare cu o dimensionalitate ridicată", de tipul celor care apar în rețelele recurente de tip Hopfield, de satisfacere a constrângerilor. În lumina acestei interpretări, părerea lor este că mulțimea de relații care sunt relevante pentru un concept este determinată, în comun, de către totalitatea constrângerilor impuse de toate relațiile existente, în paralel. În acest fel, relevanța ar fi un fenomen emergent, și nu efectul unor decizii, alegeri explicite sau conștiente. La fel, și coerența unui concept ar emerge din interacțiunea existentă într-o rețea cu legături multiple, în cadrul unei dinamici locale. Sloman și Love (1998) evidențiază că, în viziunea lor, principalul avantaj al unei interpretări a conceptelor ca atractori este acela

că ea oferă posibilitatea de a înțelege modul în care ele sunt flexibile și, în același timp, au o structură stabilă. Un concept emerge dinamic, pe măsură ce constrângeri multiple sunt satisfăcute simultan în cadrul unor interacțiuni. Cu alte cuvinte, reprezentarea conceptuală se obține atunci când o parte poate reconstrui întregul pe baza constrângerilor (dinamice) între părți. Într-o astfel de perspectivă, cei doi autori susțin că și o modalitate de simbolizare prin semne abstracte discrete presupune crearea, în mod artificial, a unei continuități spațio-temporale. Ea ar permite reprezentarea întregului prin parte, partea fiind adăugată, în acest caz, prin legăturile contingente.

Un model conexionist mai recent, elaborat de McRae (2004), propune o rețea cu atractor pentru a simula procesele de categorizare semantică. Prin intermediul ei, s-a reușit reproducerea unei game largi din rezultatele experimentale din psihologia cognitivă cu privire la memoria semantică și categorizare. În plus, s-au obținut și date cu privire la dinamica temporală a proceselor semantice. Autorul anterior citat a folosit ca input vectori ai trăsăturilor semantice corespunzătoare unor cuvinte. Obiectivul a fost ca rețeaua să simuleze accesarea acestor proprietăți semantice atunci când un cuvânt este introdus ca input, urmărindu-se traiectoria stărilor sale în timp ce se stabilizează o unică interpretare semantică, corespunzătoare unui atractor punct fix din spațiul stare al rețelei.

Se poate aprecia că un punct vulnerabil al multor modele conexioniste ale categorizării existente actual este acela că informația categoriilor este codată implicit de către cercetător prin exemplarele prezentate rețelei și descrierea lor prin trăsături predeterminate de el. Prin urmare, rolul rețelei ar fi doar acela de explicita, prin structura de atractori, informația dată implicit în legătură cu categoriile vizate. Ele nu explică modul în care se formează dinamic trăsăturile care stau la baza unei conceptualizări. Schyns, Goldstone și Thibaut (1998) prezintă date care indică faptul că, în cursul procesului de categorizare, participanții creează trăsături noi, diferite de cele de la care au pornit. De aceea, ei susțin că prin constrângeri categoriale se pot influența trăsăturile, pe care nu le văd ca fixe, independente de experiență, ci ca fiind progresiv extrase și dezvoltate în cursul categorizării. Astfel, autorii mai sus menționați par a subscrie unei viziuni dinamice, recurente și neliniare, pentru că trăsăturile și categoriile, care se creează în cursul procesului de categorizare, se codetermină într-un proces circular. La fel se întâmplă în cadrul sistemelor dinamice complexe care se autoorganizează pe mai multe niveluri,

când proprietățile emergente la un nivel superior schimbă dinamica și, prin urmare, proprietățile elementelor de la nivelul inferior, care au stat la baza generării lor. Simularea unui astfel de proces a fost încercată de Hofstadter (1996), prin intermediul unui model care îmbină abordările simbolice și cele conexioniste ale cogniției, folosind programe asemănătoare algoritmilor genetici. El consideră conceptele ca fiind entități fluide, care sunt create în cadrul unui proces iterativ, dinamic. În cursul acestui proces, percepțiile activează concepte și, apoi, conceptele activate ghidează, la rândul lor, obținerea percepțiilor, prin construirea altora noi și distrugerea celor vechi. El continuă până când, pentru a analiza paternul unui stimul dat, se obțin concepte suficient de coerente și stabile. Esența acestui proces iterativ este aplicarea recursivă a unei operații de găsire de analogii pentru percepții și apoi pentru concepte. În acest fel, în cele din urmă, conceptele ajung să se suprapună și să se activeze reciproc, începând să aibă granițe fluide, dând naștere la generalizări. Modelul prezentat poate constitui un exemplu pentru modul în care o viziune dinamică este implementabilă într-un mediu de simulare discret.

Un alt punct vulnerabil al modelelor conexioniste care presupun stabilizarea în atractori punctuali este și acela că nu sunt capabile să simuleze procese cognitive complexe, categorizări superioare celor de la nivel perceptual. Clark (1997) remarcă faptul că rețelele neuronale oferă oportunități multiple pentru reprezentarea internă prin stările de activitate distribuită, prin atractori definiți pe spațiul stare al unităților și al ponderilor, prin traiectorii în spațiul stare. El sugerează posibilitatea ca și alte entități dinamice decât atractorii punct fix, cum sunt, de exemplu, atractorii haotici, ciclurile limită, structurile bifurcațiilor să joace rolul unor reprezentări fie în sens slab, fie în unul puternic, mai ales într-un domeniu "înfometat de reprezentare", cum este acela al proceselor de categorizare. Clark (1997) arată că, pe măsură ce se încearcă aplicarea științei dinamicii neliniare la domenii mai tradițional cognitive, cum ar fi planificarea pe termen lung sau luarea deciziilor, apare o nevoie mai mare de a exercita o presiune ca rețelele neuronale să dobândească un rol reprezentațional mai mare. Calea pe care o întrezărește ar fi aceea prin care paternurile dinamice acționează ca vehicule cu extensie spațio-temporală pentru reprezentări cu conținut specific.

La nivel strict teoretic, există și alți susținători ai corespondenței atractor-reprezentare conceptuală. Astfel, Lucas (2004a) asociază categoriile mintale cu forme de atractori, existând, în concepția sa, câte un

atractor pentru fiecare concept. La fel, Mandelblit şi Zachar (1998) sugerează că o categorie emergentă sau proprietăţile sale ar putea fi puse în legătură cu stările atractoare într-un spaţiu fază constrâns. Potrivit acestora, într-un spaţiu fază neconstrâns de o dinamică, adică un spaţiu al tuturor stărilor posibile, pe care nu e definită încă o dinamică, în mod a priori, toate stările sunt deopotrivă similare una cu alta şi diferite una faţă de alta în ceea ce priveşte anumite atribute. Prin apariţia unei dinamici, care defineşte regiuni atractoare mai mult sau mai puţin complexe sau haotice, se ajunge ca această restructurare emergentă a spaţiului să permită evidenţierea spontană a anumitor atribute şi mascarea altora. Fenomenul acesta al evidenţierii (reliefării în cadrul unui spaţiu) este comparat de autori cu dinamica unor corzi de chitară, care, vibrând simultan, accentuează vibraţiile armonice, care cresc ca amplitudine. În acelaşi timp, se disipează vibraţiile nearmonice (corespunzând unor atribute diferenţiatoare), amplitudinea lor reducându-se. Bickhard (1996) deduce o consecinţă a unei viziuni de tip interacţionist dinamic a reprezentărilor conceptuale, a interpretării lor ca atractori, considerând că ele nu vor putea fi definite astfel explicit, ci doar implicit.

Aplicaţiile principiilor generale ale sinergeticii la problema categorizării sunt punctate pe scurt de către Haken (2003a). Acesta remarcă faptul că relaţia dintre categorizare şi generalizare are trăsăturile caracteristice ale cauzalităţii circulare, acestea condiţionând-se reciproc. Rezultatul ar fi acela al comprimării informaţiei. El ilustrează această idee luând ca exemplu cuvântul "câine", care este interpretat ca fiind un parametru de ordine. Dacă acest parametru de ordine primeşte o valoare specifică prin cuvântul "dalmaţian", subsistemele sistemului sinergetic asociat formării sensului pentru cuvântul dat vor fi constrânse de parametrul de ordine "dalmaţian", stabilizându-se în anumite stări, corespunzătoare trăsăturilor specifice acestui tip de câine ca rasă, culoare, mărime etc. Pe de altă parte însă, la rândul său, parametrul de ordine "dalmaţian" este rezultatul emergent al interacţiunii subsistemelor corespunzătoare unor astfel de trăsături specifice. Când parametrul de ordine "câine" nu va avea o valoare specificată, sensul său va fi exclusiv cel de specie de animal. Prin urmare, anumite subsisteme dinamice implicate în formarea sensului cuvântului "câine" nu vor mai intra într-o anumită stare, corespunzătoare unor trăsături specifice, prin constrângerea unui parametru de ordine particularizator. Se observă că Haken (2003a) întrevede, de fapt, posibili-

tatea existenței unei ierarhii de parametri de ordine, care să corespundă modului în care categoriile sunt organizate ierarhic.

Thelen (2003) încearcă o explicare a manierei în care categoriile mai abstracte corespunzătoare conceptelor emerg din activitatea perceptual-motrică, aplicând principiile teoriei cogniție încorporate. Părerea sa este că, din activitățile recurente ale sugarilor, care sunt în același timp diferite, dar au și elemente comune, va emerge de la sine, în timp, o structură de "asocieri de asocieri" (în engleză: "maps of maps") de experiențe similare, pe care o consideră a fi o "categorie emergentă perceptual motorie". Aceasta va fi mai abstractă decât experiențele specifice datorită cărora s-a format și mai generală decât ele, pentru că va putea fi accesată și printr-o informație parțială. În același mod, prin "asocieri de asocieri" ale conceptelor care emerg progresiv, se va forma o ierarhie de categorii, din ce în ce mai abstracte și mai generale. Ceea ce este specific unei astfel de viziuni dinamice este că, în cadrul acestei ierarhii, datorită faptului că procesele sunt dinamice și acționează în paralel, este posibil să apără comutări continue între ceea ce este mai abstract (reprezentări "offline", după cum le numește autoarea citată) și ceea ce este mai concret, fiind cuplat îndeaproape cu inputul imediat, "online".

Și în teoria conceptelor ca simboluri perceptuale, elaborată de Barsalou (1999), se regăsesc elemente ale unei interpretări dinamice a conceptelor, care prezintă idei similare celor sugerate de Thelen (2003). În primul rând, el definește simbolul perceptual ca un patern de activare la nivelul ariilor senzorial-motorii, reprezentând experiența perceptuală în mod schematic. Acest simbol se comportă astfel încât se poate considera că "este un atractor într-o rețea conexionistă", pentru că pe măsură ce un context variază, activarea atractorului covariază. De aceea, se constată că nu este chiar un simbol propriu-zis, pentru că el că nu este nici rigid, nici discret. Simbolurile perceptuale nu există independent unul de altul în memoria de lungă durată, ci doar organizate în ceea ce Barsalou (1999) numește un simulator, care ar fi echivalent unui concept. În cadrul acestuia, simbolurile relaționate sunt reunite, permițând construirea simulării mintale a unui eveniment sau entități în absența sa. Pentru ca o entitate să fie inclusă într-o categorie, se cere ca simulatorul să producă o simulare corespunzătoare entității percepute. Construirea simulatoarelor este controlabilă prin intermediul cuvintelor. Făcând o paralelă, s-ar putea spune că efectele pe care le generează un astfel de simulator sunt asemănătoare cu cele care se obțin în cadrul fenomenului impulsului reprezentațional, dar

la un nivel superior de organizare, cel al informației semantice, și nu doar la cel al celei perceptuale. În cadrul simulatorului sau, în mod echivalent, al conceptului, cunoștințele fuzionează cu procesele. Prin urmare, el este capabil să genereze, în mod nelimitat, conceptualizări (simulări) diferite ale unui anumit eveniment sau entități, ca instanțieri ale conceptului, constituind reprezentări temporare ale sale în memoria de lucru. Barsalou (1999) observă că, interpretând conceptele ca simulatori construiți direct pe baza informației multimodale perceptuale, se ajunge la o perspectivă diferită de cea tradițională de a gândi procesele de categorizare. Față de alte teorii, în care se susține că structuri statice, amodale, determină apartenența la o categorie (cum ar fi definițiile, prototipurile, teoriile), simulatorii ar oferi o abordare mai dinamică, de tipul cogniției încorporate. Ea este în stare să explice, deopotrivă, variația conceptelor în funcție de context și stabilitatea lor. În plus, simulatoarele prezintă avantajul că informația pe baza căreia se stabilește apartenența la o categorie e reprezentată în aproximativ în aceeași manieră ca și entitățile care trebuie categorizate.

În afară de beneficiile unei interpretări a reprezentărilor conceptuale prin atractori subliniate de diverșii autori citați mai sus, se pot identifica și altele noi. Printr-o astfel de interpretare ar fi explicabil de ce un input complet nespecific (cum ar fi zgomotul sau reprezentările externe simbolice) dă naștere unei organizări interne care nu are nici o asemănare cu organizarea inputului extern. Dacă se ține cont că un astfel de input joacă rolul unui parametru de control pentru o dinamică definită pe un spațiu stare reprezentațional, atunci o schimbare minoră a sa este posibil să determine, printr-un proces neliniar, modificări cantitative sau calitative, stabilizatoare sau destabilizatoare, la nivelul unor atractori corespunzători unor reprezentări conceptuale. Atribuirea unei funcții reprezentaționale atractorilor ar avea și avantajul că, astfel, s-ar exprima, la nivelul bazinului lor de atracție, codarea nedeterminatului, a elementului variabil. El ar cuprinde între limitele sale toate acele conținuturi ale unei reprezentări conceptuale care nu sunt sau nu au fost actualizate încă sau care ar putea fi generate intern, variante ale reprezentării conceptuale asociate atractorului, instanțieri diferite ale sale. Într-o astfel de interpretare, simulatorul despre care vorbește Barsalou (1999) ar corespunde, de fapt, nu atractorului ca atare, ci bazinului său. Această cale de a coda ceea ce este variabil ar fi una mai directă și mai naturală decât aceea numeric-simbolică, prin imagini analoge sau prin ceea ce, în psihologia cognitivă,

s-au numit a fi schemele cognitive. Reprezentările simbolice sau cele analogice nu sunt capabile să aibă, prin ele însele, un conținut incert (el este adăugat doar din afară, de către un subiect cunoscător). La rândul său, formalismul schemelor cognitive e o încercare de a reda flexibilitatea conceptelor tot prin reprezentări simbolice, dar prin utilizarea unui artificiu. El apelează la metafora fizică statică a fantei (în engleză, "slot"), adică a locului liber care poate fi ocupat numai de anumite obiecte. Dar în cadrul unei scheme cognitive nu există un dinamism real, intrinsec, pentru că elementele variabile reprezentate de slot-uri nu interacționează între ele, nu generează prin procese emergente o nouă structură conceptuală. Ele se schimbă doar prin influența mediului, completându-se sau schimbându-și valoarea în funcție de un context extern. De aceea, în cazul lor, e vorba de o flexibilitate limitată. În plus, în acest fel se poate reda doar nedeterminatul unidimensional, o singură variabilă. Dar prin intermediul atractorilor și al bazinului acestora ar fi posibil să se exprime și nedeterminatul multidimensional, conceptele fiind gândite ca variabile multi-dimensionale. La fel cum există figuri geometrice de diferite dimensiuni, și un concept ar fi interpretabil ca o figură semantică într-un spațiu stare reprezentațional cu mai multe dimensiuni, care devine dinamică, activă, atunci când pe acest spațiu se induce, prin interacțiunea cu mediul, o dinamică. Pentru ca o reprezentare conceptuală să fie dinamică, nu e suficient ca elementele sale să fie variabile, cum se întâmplă în cazul schemelor cognitive, ci și ca ele să se afle în relații de interacțiune.

Există două posibilități de modelare a conceptelor prin atractori. Într-o primă variantă, ele ar fi considerate ca procese emergente la nivel macro, în cadrul unui sistem dinamic complex, care stabilizează dinamicitatea de la nivelul micro al reprezentărilor dinamice senzorial-perceptive (la fel precum și obiectele fizice sunt stabilizări la nivel macroscopic ale unui dinamism de la nivelul molecular microscopic). În acest caz, ele ar fi definite într-un spațiu stare cu dimensionalitate ridicată, ale cărui coordonate nu reprezintă variabile semantice. Un exemplu ar fi acela al atractorilor definiți ca reprezentând concepte în cadrul rețelelor neuronale cu atractori, pentru care spațiul stare are ca și coordonate niveluri de activare ale neuronilor din rețea sau ponderile legăturilor dintre ei. Într-o altă variantă, mai abstractă, modelarea conceptelor n-ar mai face referire la baza lor senzorial-perceptivă, ca structuri atractoare într-un spațiu stare reprezentațional cu dimensionalitate redusă, ale cărui coordonate sunt proprietăți (trăsături semantice) ale unor exemplare.

Indiferent de varianta de modelare, similaritatea a două concepte ar putea fi definită în funcție de două criterii: după gradul de apropiere a pozițiilor atractorilor lor în spațiul stare reprezentațional sau după dinamica lor (adică dacă sunt de tip punct fix, ciclici, toroidali, haotici, un singur atractor sau o structură atractoare alcătuită din mai mulți atractori). Relațiile dintre concepte ar fi modelate ca tranziții între ei, de diferite tipuri: în cadrul spațiului dinamic sau tranziții între dinamici prin bifurcații. Între concepte, ca atractori , este posibil să existe relații de diferite genuri, printre care și cele de competiție sau cooperare. Similaritatea exemplarelor nu va fi apreciată exclusiv pe baza gradului de apropiere a punctelor care le corespund în spațiul stare reprezentațional. Noutatea unei abordări dinamice ar fi aceea a introducerii criteriului similarității evoluției ulterioare în timp a traiectoriilor dinamice care pornesc din acele puncte, adică dacă acestea vor avea un același curs, sfârșind în același atractor. De asemenea, spre deosebire de modelele de tip computaționalist simbolic, categorizarea unui exemplar nu se va face printr-un proces de comparare a trăsăturilor sale cu acelea ale unui concept memorat sau ale unor exemplare din categoria corespunzătoare. Ea se va face printr-un proces de "cădere" în bazinul de atracție corespunzător unui concept, la fel ca în cazul proceselor de recunoaștere sau evocare descrise în secțiunea anterioară.

Ceea ce la ora actuală e mai puțin specificat ar fi procesul exact de formare a structurii conceptuale complexe dinamice la nivel psihic. Se afirmă, în general, că el ar presupune schimbarea dinamicii prin parametri de control externi sau că s-ar face în virtutea dinamicii intrinseci, prin procese de autoorganizare. Simulările făcute prin rețele neuronale cu atractori s-au limitat la modelarea proceselor de formare a doar câtorva concepte. Sugestii teoretice în acest sens se regăsesc în teoria semiofizică elaborată de Thom (1977, în Porte, 1994). Și acest autor pleacă de la ipoteza că "orice obiect sau formă fizică poate fi reprezentat/ă de atractorul C al unui sistem dinamic într-un spațiu de M variabile interne" (Thom, 1977, în Porte, 1994, p. 43). O altă teză a teoriei sale este aceea că obiectul sau forma în cauză nu vor fi percepute decât dacă atractorul corespunzător este stabil structural. A treia teză afirmă că orice proces de morfogeneză, adică de formare sau de dispariție a unei forme, corespunde dispariției atractorilor formelor inițiale și înlocuirii lor de către atractorii formelor finale, printr-un proces numit catastrofic. El va fi descris (definit) într-un spațiu P de variabile externe (numit spațiu de control).

Ultima teză este aceea că orice proces morfologic structural stabil este descris printr-o catastrofă stabilă sau un sistem de catastrofe stabile definite pe spațiul P. În interpretarea lui Porte (1994), prin primele două teze s-ar afirma că o reprezentare abstractă a unui obiect sau forme (cum este cea conceptuală) e dată de spațiul stare al unui sistem dinamic. Obiectul sau forma nu va exista decât dacă dinamica acelui sistem prezintă un atractor robust și simplu ca structură: adică este fie un atractor de tip punct fix sau sursă de potențial, fie un atractor ciclic, corespunzând unui șanț circular al potențialului. Cea de-a treia teză ar susține, practic, că orice transformare a reprezentării abstracte a unui obiect nu aduce o schimbare a obiectului în sine, ci a dinamicii sale, iar punctele de singularitate și contururile aparente care apar în spațiul de control sunt cele care ne permit accesul la forma de la care s-a pornit, ele condensând formele potențiale. Aceste forme potențiale ar putea fi aflate prin așa numitul proces al desfășurării singularității unei dinamici relativ simple (cu nu mai mult de patru variabile). El ar consta în aflarea întregii serii de posibilități de schimbare corespunzătoare acelui punct care marchează doar un eveniment, acela al transformării potențiale care poate avea loc în acel punct. Thom (1988, în Porte, 1994) compară punctul de singularitate al unei dinamici cu o sămânță, un fel de structură virtuală, care, prin desfășurare, generează toate realizările care se pot actualiza ale virtualității sale. Desfășurarea consta în explicitarea configurației locale de forțe care sunt implicate în dinamică în punctul de discontinuitate al acesteia (în singularitate), prin specificarea parametrilor de control, a modului cum ei variază și a modului și condițiilor în care numărul de atractori se schimbă.

Prin urmare, Thom (1988, Porte, 1994) este de părere că teoria catastrofelor furnizează o cale prin care este posibil să se descrie, într-o manieră calitativă, procesul prin care se realizează trecerea de la virtual la potențial. În punctele de discontinuitate ale unei dinamici se concentrează, practic, formele (mai precis structurile atractoare) specifice dinamicilor care preced și urmează punctul de discontinuitate. Astfel, se oferă o nouă cale de reprezentare dinamică, una mai potrivită pentru conceptele abstracte mai complexe, de nivel superior, și anume nu prin atractori, ci prin singularități locale. După cum arată Thom (1988, în Porte, 1994), invarianții topologici ai unui spațiu (sau mai general, ai unei varietăți) pe care se definește o funcție, se regăsesc simbolizați prin singularitățile locale ale funcției care se definește pe el. Cu alte cuvinte, dacă se

proiectează un spațiu în domeniul în care ia valori funcția, spațiul va "reacționa" creând singularități ale funcției, care ar putea fi privite ca vestigii ale topologiei spațiului care a fost "desființat" printr-o astfel de proiecție. Topologia acelui spațiu va rezista, manifestându-se prin existența singularităților locale, adică a unor puncte critice. Pe această cale se întrevede posibilitatea, conform autorului citat, de a coda obiecte de natură abstractă și globală prin singularitatea unui obiect asociat, a unei entități codante. Formele dintr-un spațiu cu mai multe dimensiuni vor fi, astfel, codate prin singularitățile funcției obținute prin proiecția lor într-un spațiu unidimensional. Singularitățile locale ar fi niște reprezentări dinamice abstracte de un tip special, pentru că descriu procese complexe, care îmbină proprietăți aparent contradictorii, tendințe aflate în conflict, ele conținând, simultan, mai multe virtualități aflate în competiție pentru a fi actualizate. Câștigătoarea se va decide în funcție de context.

Reprezentarea prin singularități ar sugera și o explicație a modului de formare a piramidelor conceptuale. Thom (1991, în Porte, 1994) arată că în semiofizică, ideea de bază este aceea că, acolo unde două entități sau regimuri locale sunt în conflict, există un continuum care le leagă. El nu este acela al substratului, ci unul al calităților. Fiecărui punct al substratului îi corespunde un spațiu fibră care "reprezintă un spațiu de calități", pe care Thom îl pune în legătură cu genul. Genul ar fi un nou spațiu unde speciile, sau, altfel spus, calitățile lor, își dispută un anumit domeniu. Procesul se repetă pe spațiul speciilor, formându-se, astfel, o ierarhie de genuri și specii suprapuse.

Teoria catastrofelor, în mod particular ideea de stabilitate structurală, conduce și la o reinterpretare a noțiunii de identitate, strâns legată de reprezentarea abstractă, de ideea de categorie și concept. Așa cum remarcă Porte (1994), pentru a căuta identitatea unui lucru, ar trebui să căutăm dinamica subiacentă, prin care ea se păstrează, în ciuda schimbărilor. Această căutare ar trebui să se realizeze, în viziunea sa, prin metodele dinamicii calitative, adică cele ale teoriei catastrofelor. S-ar depăși astfel viziunea identității ca având la bază stricta asemănare, ca o copie, înlocuind-o cu ideea că identitatea nu înseamnă neapărat asemănare, ci continuitate în timp. Porte (1994) subliniază că semiotica elaborată pornind de la teoria catastrofelor consideră că semnele și conceptele au nu doar o identitate spațială, ci și una temporală. Acest lucru ar însemna că nu este posibil să se realizeze o disociere între semn și referentul său, ca în teoriile tradiționale. În plus, s-ar deduce și că orice concept este văzut ca fiind o formă care poate fi supusă unei reglări (Porte, 1994). Plecând

de la ideile morfogenetice, Porte (1994) dezvoltă ideea formulată inițial de Thom (1988, în Porte, 1994) a posibilității ca reprezentările conceptuale să fie codate dinamic și prin ceea ce în teoria catastrofelor se numește pregnanță, ca o singularitate călătoare (similară ideii de soliton). Potrivit lui Thom (1988, în Porte, 1994), un concept ar fi interpretabil ca o pregnanță a cărei difuziune e controlată, interacțiunile asociate structurilor sintactice fiind de tipul interacțiunilor pregnanță – pregnanță. Un caz similar ar fi acela în care speciile "luptă" în cadrul unui gen. În interpretarea lui Porte (1994), pregnanța e văzută ca un potențial care se propagă și care difuzează prin contiguitate și similaritate asupra formelor proeminente (forme individualizate care se recunosc și se disting pe un fond, stabilizându-se în cadrul unei dinamici), pierzându-și astfel din intensitate. Ea ar fi, în viziunea sa, organizată ca o categorie. Ca urmare, el sugerează că forma poate fi definită deopotrivă extensiv, prin pregnanțe, cât și intensiv, prin dinamica care îi asigură stabilitatea. Astfel, în concepția sa, s-ar produce o schimbare radicală, pornindu-se în interpretarea fenomenelor psihice nu de la obiecte și relațiile dintre ele, ci de la forme, de la dinamicile care stau la baza lor și de la conflictele care se nasc între ele în cadrul acestor dinamici.

Există și autori care au elaborat teorii asupra modului de formare a conceptelor care, deși nu folosesc terminologia specifică dinamicii neliniare, au o viziune prin care se evidențiază natura dinamică a conceptelor. Un exemplu ilustrativ ar fi acela al teoriei spațiilor de mixaj (în engleză: "blended spaces"), introdusă de Fauconnier și Turner în 1985 (Fauconnier și Turner, 1998; Mandelblit și Zachar, 1998). Ea propune o perspectivă dinamică asupra conceptelor, asupra formării lor și, indirect, asupra proceselor de inferență. Potrivit autorilor acestei teorii, o categorie conceptuală nu e un obiect mintal permanent, ci mai degrabă un rezultat dinamic al unui set de operații de proiecție, amestecare și integrare care se execută asupra unor domenii conceptuale. De aceea, aceasta va fi flexibilă și dinamică. Definirea sensului său nu se va mai întemeia pe un set fixat de unități conceptuale, pentru că ele sunt create și dispar în permanență. Similaritatea, comunalitatea a două domenii mintale sau de input va fi în funcție de context, el determinând unitatea conceptuală care va fi generată plecând de la ele. În consecință, nu este posibil să se anticipeze, dinainte, ce unitate mintală va apărea pe baza lor, dacă nu este prezent un context anume. Pentru Fauconnier și Turner (1994, în Mandelblit și Zachar, 1998; Fauconnier și Turner, 1998), conceptele sunt doar cuvinte (situându-se, aparent, pe poziția celor care, în cearta

universaliilor din filosofia scolastică, considerau cuvintele ca "flatus vocis", simple sunete), care activează însă un număr mare de domenii conceptuale diferite. Acest lucru ar însemna că un concept asociat unui cuvânt nu va putea fi definit printr-o listă exhaustivă de proprietăți, pentru că în funcție de context, cuvântul va activa domenii conceptuale diferite, între care se vor identifica paternuri de corelații specifice acelui context. Prin fuzionarea spațiilor conceptuale se ajunge la spații care își vor dezvolta propria logică și structură de organizare, generând inferențe care nu ar fi fost posibile în spațiile inițiale. Fauconnier și Turner (1998) sugerează că inferențele conceptuale și alte integrări ale informației sunt construite dinamic într-un spațiu mintal, numit spațiu de mixaj. Procesele din cadrul acestuia nu au un caracter algoritmic, ceea ce face ca rezultanta inputurilor sale să nu poate fi prezisă doar prin cunoașterea structurii lor. Astfel, comparația cea mai potrivită pentru integrarea conceptuală ar fi, după autorii citați, nu compoziția chimică, ci evoluția biologică. Spațiile mintale pot fi și generice, conținute în cele de mixaj, ceea ce înseamnă că au aplicații din fiecare spațiu input, adică conțin ceea ce ele au în comun. Pe de altă parte, ele sunt considerate de mixaj, pentru că includ structuri emergente, care nu se regăsesc în spațiile input și care se obțin din compunerea elementelor din spațiile input. Proprietățile structurale emergente vor fi, apoi, aplicate înapoi, în spațiile input, cu efecte inferențiale. Conform acestor autori, integrarea conceptuală este o chestiune care nu a fost încă rezolvată de modelele computaționale explicite.

Se observă că, după cum Fauconnier și Turner (1998) definesc spațiile mintale, ele ar putea fi considerate ca fiind o intuiție generală, destul de imprecisă, a ceea ce ar fi un spațiu dinamic mintal. Cei doi autori descriu un spațiu mintal ca fiind constituit din mici pachete conceptuale care sunt elaborate pe măsură ce gândim sau vorbim pentru a înțelege sau a acționa local. Aceste ansambluri parțiale sunt structurate de cadre și modele cognitive. De asemenea, mai multe spații mintale se interconectează și pot fi modificate pe parcursul gândirii sau acțiunii. Practic, ele ar fi interpretabile ca sisteme dinamice complexe care își schimbă dinamica, generând astfel noi structuri de atractori, ceea ce ar echivala cu noi cadre sau modele de integrare a stărilor posibile. Este posibil ca astfel de sisteme dinamice complexe să se cupleze, la rândul lor, generând un spațiu fază cu o dinamică emergentă care nu este reductibilă la dinamica spațiilor cuplate și care este controlată/influențată de dinamica sistemelor prin cuplarea cărora a rezultat. Dar nefăcând apel la astfel de concepte ale dinamicii neliniare, autorii anterior citați sunt

nevoiți să introducă, în abordarea lor de esență dinamică, procese care sunt mai degrabă caracteristice uneia de tip computațional static. De exemplu, ei explică emergența prin "compunerea" elementelor din spațiile input, când termenul dinamic corespunzător ar fi fost acela de cuplare sau de tranziție dinamică (între stări ale spațiului stare) sau de fază (între portrete ale spațiului fază). De fapt, probabil că ei au dorit doar să sublinieze că este vorba de ceva care apare din mai multe elemente anterioare disparate. O dovadă că sensul dat de ei nu este unul cu nuanțe statice este aceea că ei consideră că un tip de compunere este acela al fuzionării, care nu are un corespondent în computaționalismul simbolic, neputându-se vorbi de operația de fuzionare a unor simboluri. În schimb, în dinamica neliniară se discută despre fuzionarea unor atractori. O altă operație pe spații input ar fi completarea, ceea ar corespunde, într-o terminologie a dinamicii neliniare, relaxării unui spațiu dinamic în atractorul bazinului de atracție în care se află. Operația elaborării, de dezvoltare a mixajului potrivit propriilor principii și a propriei logici prin "rularea sa imaginară" în mod indefinit, s-ar traduce ca fiind corespondentă unui proces dinamic iterativ (recursiv). Prin intermediul lui, structura atractoare a spațiului emergent de mixaj este explorată, pornindu-se din condiții inițiale diferite de cele din care s-a pornit la emergența spațiului. Logica și principiile spațiului ar fi asociate legii dinamice proprii acestuia, iar ceea ce, în mod impropriu pentru o viziune dinamică, numesc autorii ca "rulare" ar însemna, în terminologie dinamică, aplicarea iterativă a legii dinamice sau aplicarea sa repetată din puncte de plecare diferite din spațiul fază.

Teoretizările lui Gergen (1994) asupra cerințelor necesare definirii conceptelor, dezvoltării limbajului denotativ, au, de asemenea, relevanță pentru o interpretare dinamică a formării reprezentărilor conceptuale. Astfel, autorul citat susține că, pentru ca un concept să fie elaborat plecând de la exemple, o cerință minimă ar fi aceea ca, la nivelul acestora, să existe "disponibilitatea unor proprietăți continue sau recurente" care să poată fi supuse verificării publice. Sensul unui termen s-ar stabili, prin urmare, numai prin prezența unui patern relativ "stabil" al experienței, care se evidențiază în raport cu proprietățile continue și recurente. La baza acordului asupra unui sens comun ar sta tocmai stabilitatea relativă a acestor paternuri, care pot fi astfel memorate și comunicate. Ceea ce Gergen (1994) numește paternuri relativ stabile ar fi interpretabile ca fiind corespunzătoare ideii de atractor, apelul la noțiunea de stabilitate fiind o referință implicită la

o natură dinamică a sensului conceptual. Proprietățile continue sau recurente ar însemna, în cheie dinamică, variabile dinamice.

Pentru a susține o interpretare în spiritul TSDN a proceselor de categorizare, de formare a reprezentărilor conceptuale, există relativ puține studii de psihologie cognitivă care să furnizeze date empirice utile în acest sens. Cele mai multe dintre ele se referă, în special, la procesele de categorizare perceptuală și mai puțin la cele de elaborare a conceptelor abstracte, complexe. Relevante ar fi și datele experimentale prezentate în secțiunea anterioară pentru a sprijini o ipoteza dinamică a reprezentărilor mintale și a proceselor de memorie și cele care se vor referi la interpretarea dinamică a proceselor rezolutive și a limbajului. În cele ce urmează au fost selectate câteva studii care sunt mai apropiate de o cercetare a procesului de categorizare din perspectivă dinamică. Ele oferă însă mai degrabă dovezi indirecte și, în mare parte, se concentrează pe controlul exercitat de parametrii de control din mediu asupra dinamicii sensurilor categoriale ale unor stimuli perceptuali.

Un prim astfel de studiu empiric este cel realizat de Tuller et al. (1994). El este unul mai extins, ocupându-se de problema categorizării perceptuale a unor stimuli verbali. Autorii studiului au pornit de la ideea generală că schimbarea în modul de categorizare a unor stimuli verbali poate fi caracterizată printr-un proces dinamic al autoorganizării, care presupune o catastrofă (bifurcație) de trecere spontană de la un patern perceptual la altul. Prin urmare, cercetarea realizată de ei a avut în prim plan răspunsul la întrebarea dacă este posibil ca stabilitatea perceptuală să fie definită în termenii dinamicii, dacă tranzițiile între categorii sunt interpretabile ca procese dinamice, care evoluează în timp. Urmărirea categorizării stimulilor verbali în contextul modificării graduale a semnalului acustic, considerat ca parametru de control, le-a permis lui Tuller et al. (1994) să evidențieze o dinamică perceptuală caracterizată de existența multistabilității, de modificări ale stabilității, de comutări (adică salturi discontinue bruște spontane în categorizare). Acest lucru i-a determinat să concluzioneze că dinamica perceptuală și a categorizării perceptuale apare ca un comportament dependent de timp al ceea ce e numit de ei sistemul vorbirii, care ar putea fi descris în termenii dinamicii neliniare. De asemenea, ei apreciază că rezultatele cercetării lor arată că granițele dintre senzații, percepții și decizii nu sunt clar demarcabile. Mai concret, ei au presupus existența unor ecuații de mișcare de tip neliniar care ar determina evoluția în timp a procesului categorizării perceptuale, având

forma următoare: $dx/dt = -dV(x)/dx = -k + x - x^3$, unde k este un parametru de control, iar x indică forma perceptuală. Rescrisă de ei sub forma unei funcții de potențial, ecuația are forma: $V(x) = kx - x^2/2 + x^4/4$, unde k, în acest caz, este un parametru care indică direcția și gradul de înclinare ale funcției de potențial.

Pentru a testa această ipoteza de mai sus, ei au realizat un experiment în care au investigat modul în care participanții percep stimulul verbal "*say*" (un cuvânt din limba engleză care înseamnă "a spune"). Acesta a fost prezentat în mod repetat, variindu-se, progresiv sau aleatoriu, pauza dintre *s* și *a*. Pentru o pauză relativ mică ("*s .. ay*"), participanții au ales cuvântul "*say*" pentru a categoriza stimulul. Pentru o pauză relativ mare ("*s ..... ay*"), categorizarea de către participanți a stimulului s-a făcut prin cuvântul "*stay*" din engleză, care se traduce prin "a sta". Autorii au sesizat că pragul duratei pauzei la care se realizează trecerea de la o modalitate de categorizare la alta este diferit dacă stimulii sunt prezentați aleatoriu în ceea ce privește durata pauzei față de situația în care stimulii sunt prezentați astfel încât durata pauzei crește progresiv și față de situația în care durata pauzei scade progresiv. Practic, e vorba de existența a trei valori prag diferite ale duratei pauzei pentru care se realizează o trecere spontană de la un mod de categorizare la altul. Autorii anterior citați apreciază că prezentarea secvențială a stimulului, adică modificarea lui graduală, permite o evidențiere mai bună a efectelor contextuale asupra judecăților, deciziilor de categorizare. Prezența celor trei praguri diferite e interpretată ca o indicație a existenței a două semne caracteristice ale unui proces neliniar (în acest proces de categorizare perceptuală) care trece printr-o catastrofă de tip punct șa: hysteresis-ul și fenomenul corelativ, contrastul accentuat. Durata pauzei este considerată a fi un parametru de control pentru sistemul neliniar perceptual. Pe măsură ce acest parametru de control este modificat gradual, stabilitatea atractorului care caracteriza starea perceptuală corespunzătoare categorizării inițiale scade, ceea ce va crește probabilitatea trecerii la starea perceptuală alternativă (celălalt atractor existent în spațiul stare), adică la cealaltă categorizare. E vorba de existența unei bistabilități a sistemului perceptual, acesta putându-se stabiliza în două stări atractoare diferite. Pe măsură ce se variază parametrul de control, una din stările atractoare își pierde stabilitatea și dominanța, în favoarea celeilalte, care și-o crește. Va exista o valoare prag când se realizează o trecere de la dominarea uneia din stările atractoare la dominarea celeilalte. Procesul de trecere de la

dominarea unui atractor la dominarea celuilalt pe măsură ce se schimbă valoarea parametrului de control poate fi vizualizat în Fig. 36.

Stabilitatea unui atractor este determinabilă prin gradul de rezistență la influența zgomotului de fond (care, în acest caz, este considerat de către autorii mai înainte citați a fi reprezentat de oboseală, de fluctuațiile atenției), fiind indicată de diametrul și adâncimea bazinului de atracție. Prin urmare, trecerea de la o categorizare perceptuală la alta e mai probabilă atunci când atractorul catagorizării inițiale este cel mai puțin stabil, adică în apropierea punctelor de tranziție. Acest lucru înseamnă că este de așteptat ca prezentarea repetată a unui stimul în apropierea punctului de tranziție să favorizeze creșterea probabilității de comutare la categorizarea alternativă. În același timp, efectul fluctuațiilor aleatorii (datorate, de exemplu, fluctuațiilor atenției) ar trebui să fie acela al creșterii probabilității de a trece la categoria alternativă pe măsură ce punctul de tranziție se apropie. Însă după depășirea acelui punct, aceste fluctuații nu ar mai avea nici un efect. Rezultatele obținute de autorii mai sus menționați au confirmat aceste predicții.

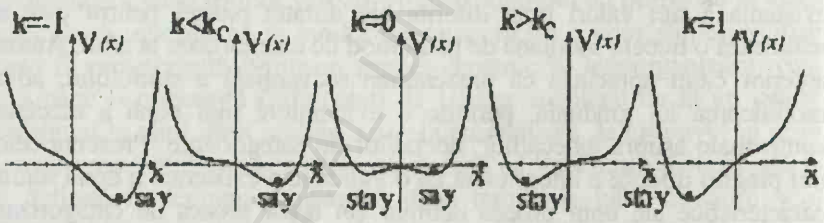


Fig. 36 Reprezentarea funcției de potențial corespunzătoare ecuației categorizării perceptuale pentru mai multe valori ale parametrului k; minimele funcției indică atractorii corespunzători celor două categorii perceptuale, iar poziția bilei, atractorul dominant (după Tuller et al., 1994)

De asemenea, s-a așteptat să apară și fenomenul de hysteresis, când o stare atractoare, adică un mod de categorizare, persistă chiar și atunci când durata pauzei din stimulul prezentat ar fi condus la un răspuns alternativ dacă stimulii ar fi fost prezentați aleatoriu, și nu în mod crescător, în ceea ce privește durata acestei pauze.

Autorii mai sus citați introduc și un al doilea parametru de control, notat cu ε, care influențează forma bazinului celor două stări atractoare. El este un termen care încorporează numărul de repetiții ale aceluiași stimul, fiind legat de efectul cumulativ al învățării prin prezentarea repetată, de experiența lingvistică în general și de factorii atenționali. De acest parametru depinde tipul de bifurcație pe care o va suferi sistemul perceptual, adică dacă va fi una care prezintă hysteresis sau una care prezintă fenomenul contrastului accentuat. Contrastul accentuat apare când trecerea la categorizarea alternativă se realizează pentru o valoare prag mai mică a parametrului de control, adică a duratei pauzei, atunci când acesta crește progresiv, comparativ cu valoarea prag pentru situația când acesta scade progresiv. Mai simplu spus, categorizarea inițială e mai puțin persistentă față de cea alternativă. În schimb, fenomenul hysteresis-ului se produce atunci când trecerea la categorizarea alternativă se realizează pentru o valoare prag mai mare a parametrului de control, adică a duratei pauzei, atunci când acesta crește progresiv, comparativ cu valoarea prag pentru situația când acesta scade progresiv. Cu alte cuvinte, categorizarea inițială e mai persistentă decât cea alternativă. Pentru valori mai mici decât o valoare prag a lui ε, va apărea hysteresis-ul, pentru valori mai mari decât această valoare prag va fi prezent fenomenul contrastului accentuat. Pentru că valoarea parametrului ε tinde să crească în decursul experimentului deoarece apare efectul învățării stimulilor, s-a așteptat ca frecvența de apariție a hysteresis-ului să scadă în raport cu frecvența apariției contrastului accentuat. Pentru valori egale cu valoare prag ale ε se obține ceea ce se numește fenomenul graniței critice, adică valoarea prag de trecere de la o categorizare la alta rămâne aceeași, indiferent de direcția în care parametrul de control (durata pauzei) este modificat gradual. În acest caz, doar fluctuațiile aleatorii, datorate, de exemplu, fluctuațiilor atenției, pot să schimbe modul de categorizare, rolul lor fiind minor sau absent atunci când ε este departe de valoarea prag. Predicțiile amintite mai sus au fost confirmate, în mare parte, de rezultatele obținute.

Am prezentat mai pe larg studiul realizat de Tuller et al (1994) pentru că el este paradigmatic pentru un tip de experimente care se pot proiecta pentru a studia fenomenele cognitive pe baza unui cadru teoretic furnizat de dinamica neliniară. Prin ele sunt evidențiabile fenomene care sunt greu de explicat prin modelele clasice ale psihologiei cognitive. Acest tip de experimente urmează un patern similar celui folosit pentru modelarea dinamică a fenomenelor perceptuale. El a fost inițiat, după

cum s-a mai amintit şi în secţiunile anterioare, de către Haken, în anii '80 ai secolului trecut (Haken, 1995a), prin investigarea tranziţiilor dinamice în interpretarea figurilor ambigue. Acest autor a propus, pentru prima dată, o formalizare a dinamicii sistemelor perceptuale printr-o ecuaţie a unei funcţii de potenţial simple cu două bazine: $V(x) = kx - x^2/2 - x^4/4$, unde x reprezintă un parametru de ordine, adică o variabilă colectivă reprezentând starea perceptuală, paternul configuraţional perceptual sau, după caz, categoria aleasă sau sensul dat unui stimul.

Spivey şi Dale (2006) citează studii asupra percepţiei sunetelor sau cuvintelor care susţin ideea unor procese dinamice care ar sta la baza categorizării. De exemplu, McMurray et al. (2003, în Spivey şi Dale, 2006) au investigat percepţia silabelor "bah" şi "pah" atunci când se prezintă un continuum, prin care se asigură o tranziţie graduală între ele. Dacă se consideră strict răspunsurile verbale ale participanţilor cu privire la stimulul perceput (în care, pentru o jumătate a gradaţiei continue este percepută, în mod indistinct, prima silabă şi, pentru cealaltă jumătate, cea de-a doua silabă), rezultatele par în acord cu presupunerile computaţionalismului clasic, potrivit căruia categoriile perceptuale sunt "forme logice care nu implică o variaţie gradată" (Spivey şi Dale, 2006). Dar înregistrarea mişcărilor oculare ale participanţilor în timp ce dădeau răspunsurile de identificare (prin alegerea celor doi stimuli corespunzători de pe un ecran) a indicat faptul că sunetele aflate în zona de graniţă dintre cei doi stimuli extremi au evocat mai multe mişcări oculare care oscilau, iniţial, între cele două opţiuni de răspuns date decât alte sunete. În plus, proporţia cu care era privită fiecare dintre opţiuni depindea de tipicalitatea stimulului. Spivey şi Dale (2006) au interpretat acest rezultat ca susţinând ideea că gradaţiile existente între stimulii verbali nu au fost brusc eliminate în cursul percepţiei, ci ele "au influenţat o competiţie dinamică dintre opţiunile de răspuns". Decizia asupra identităţii categoriale a unui stimul este văzută de aceşti autori ca fiind un proces de completare a paternurilor, în care o stare internă este atrasă către un bazin atractor, îndepărtându-se de alte bazine atractoare, stabilizându-se în final într-un atractor.

Modelele dinamice ale recunoaşterii cuvintelor rostite (care presupun activarea simultană şi competiţia mai multor alternative lexicale) sunt susţinute şi de o altă serie de date, mai recente, citate de Spivey şi Dale (2006). Astfel, Spivey, Grosjean şi Knoblich (2005, în Spivey şi Dale, 2006) au folosit, în locul înregistrării mişcărilor oculare, măsurători continue ale mişcărilor mouse-ului cu care participanţii răspund. Ele au

relevat o atracție spațială graduală către obiectul competitor țintei, traiectoriile inițiale ale mouse-ului indicând atracția către ambele obiecte stimul. Cu alte cuvinte, poziția mouse-ului gravita, pentru mult timp, în spațiul dintre locațiile corespunzătoare acestora și, doar în final, se producea o mișcare bruscă, de curbare către obiectul țintă. Ideea subliniată de Spivey și Dale (2006) este că majoritatea timpului de răspuns este petrecută în regiunile intermediare ale spațiului stare, adică în zonele paternurilor ambigue, care sunt în acord parțial cu mai multe reprezentări lexicale. Aceeași paradigmă experimentală a fost aplicată de Dale, Kehoe și Spivey (citați de Spivey și Dale, 2006) pentru a studia categorizarea semantică. Participanții trebuiau să categorizeze cuvântul corespunzător unui animal (de exemplu, pisică), prezentat pe un ecran, prin selectarea cu mouse-ul a unuia dintre cele două cuvinte care reprezentau clase taxonomice (de exemplu, mamifere și păsări). Încercările critice au fost cele în care cuvintele se refereau la animale atipice cum sunt balenele, iar categoria taxonomică care trebuia exclusă avea o suprapunere substanțială, ca trăsături semantice și perceptuale, cu cuvântul reprezentând ținta de categorizat (cum ar fi "pește", pentru ținta "balenă"). Mișcările mouse-ului au prezentat, în astfel de încercări critice, o mai mare atracție către categoria care trebuia exclusă decât în cazul restului de încercări. Acest rezultat a fost interpretat dinamic de către autorii experimentului citat prin atracția către bazinul de atracție al acelei categorii datorită proporției mari de trăsături ale acesteia care se regăseau la animalul țintă. Este de presupus, astfel, că, pentru mult timp înainte de selecție, a existat o activare a unor multiple interpretări.

Același tip de modelare prin tranziția între doi atractori a fost aplicat și pentru stimuli mai complecși (Raczaszek, Tuller, Shapiro, Case și Kelso, 1999) sau pentru procese care presupun o solicitare reprezentațională de nivel superior (van Rooij et al., 2000). Astfel, Raczaszek et al. (1999) au folosit ca stimul ambiguu o propoziție care putea fi înțeleasă în două moduri diferite, în funcție de valoarea unui parametru de control: durata unei pauze dintre două cuvinte prin care se putea segmenta propoziția stimul. Cele două modalități de a o înțelege au fost considerate ca sări atractoare alternative, aflate în competiție. Propoziția folosită a fost următoarea: "Pat sau Kate și Bob vor veni". În funcție de durata pauzei după cuvântul "sau", propoziția poate primi două interpretări posibile: "[Pat] sau [Kate și Bob] vor veni." sau "[Pat sau Kate] și [Bob] vor veni." Rezultatele experimentului autorilor mai sus citați arată că prezentarea

acestei propoziții prin creșterea progresivă a valorii parametrului de control duce la o valoare prag de tranziție către sensul alternativ al propoziției diferită de valoarea prag care apare dacă propoziția stimul este prezentată aleatoriu din punctul de vedere al duratei pauzei, care joacă rolul de parametru de control. Au predominat fenomenele de hysteresis și de contrast accentuat, adică unora dintre participanți le era greu să renunțe la sensul inițial al propoziției, pe când alții renunțau la el chiar prea repede, ca și cum ar fi anticipat sensul alternativ. Autorii studiului citat au pus aceste diferențe individuale pe seama unui factor individual numit "pregătirea pentru comutare", care ar fi asociat cu ceea ce în alte cercetări s-a numit flexibilitate cognitivă. Este de presupus că acest factor ar juca rolul de parametru de control și în procesele de categorizare. În plus, timpii de răspuns erau mai lungi înaintea punctelor de tranziție, ceea ce a fost interpretat ca un indiciu al scăderii stabilității atractorului corespunzător primului sens al propoziției. Acest rezultat a fost considerat de către autorii experimentului ca reprezentând o dovadă în plus în favoare existenței unei "dinamici a sensului". Ei au demonstrat, astfel, prin cercetarea lor, că o propoziție care are un anumit sens, atunci când este prezentată izolat, poate fi biasată către un alt sens prin "ordonarea unui indiciu acustic relevant pentru stimulii anteriori". Concluzia lor a fost că formarea sensului unei propoziții ambigue este interpretabilă ca un proces de emergență a unor paternuri autoorganizate, în care coexistă două organizări stabile (bistabilitate). Selecția uneia dintre ele se va face prin dependența de istoricul prezentării stimulilor, dependență care s-a manifestat în fenomenele de hysteresis sau de contrast accentuat. Procesul de identificare a sensului propoziției ar echivala cu fixarea sistemului dinamic implicat într-un patern stabil, atractor.

În concepția autorilor anterior citați, efectele observate în percepția sensului unei propoziții sunt similare cu cele observate în alte fenomene perceptuale și își au originea într-o dinamică de bază a sistemului cognitiv. Plecând de la rezultatele obținute, ei ajung la concluzii generale cu privire la procesul de categorizare. După opinia lor, forma sigmoidală a funcției de identificare, adică a graniței dintre două categorii, nu mai poate fi atribuită, ca până acum, exclusiv impreciziilor sistemului perceptual sau zgomotului aleatoriu, ci ar trebui explicată prin dinamica sistemului cognitiv care interacționează cu stimulii. O astfel de abordare dinamică susține că răspunsurile în domeniul intermediar al valorilor unui parametru în funcție de care se face categorizarea ar fi explicabile printr-o

flexibilitatea adaptativă a percepției care se datorează dinamicii sistemului cognitiv. Evidențierea existenței acestei dinamici este posibilă, în concepția lui Raczaszek et al. (1999), tocmai prin investigarea fenomenelor care apar în timpul tranzițiilor prin folosirea instrumentelor matematice utilizate în fizică pentru a studia modul de formare a paternurilor în sistemele fizice deschise aflate departe de echilibru. Avantajul unei astfel de abordări ar fi, potrivit autorilor citați, acela că ea permite construirea unor modele ale categorizării cu un număr relativ mic de dimensiuni ale proceselor cognitive. În plus, ei apreciază că un model al înțelegerii unei propoziții pe baza coerenței unei structuri globale care joacă rolul de forță conducătoare pentru adaptarea contextuală a informației locale ar avea și următorul avantaj. El ar permite renunțarea la misterioșii homunculi sau agenți activi care au fost considerați, până acum, ca necesari pentru a explica înțelegerea informației din propoziții. Paternurile globale care corespund sensurilor care se formează spontan prin dinamica autoorganizatoare a sistemului cognitiv, ca parametri de ordine, acționează asupra sistemului dinamic care le-a generat, "înrobind" (Haken, 1983, în Raczszek et al., 1999) celelalte indicii care ar fi putut influența sensul perceput în altă direcție decât cea dată de paternul global actual. O consecință cu implicații metodologice a unei astfel de abordări a categorizării ar fi aceea că e puțin probabil ca trăsăturile stimulilor care trebuie categorizați, ca și valorile absolute ale acestora, să poată determina, în mod univoc, interpretarea categorială pe care o vor primi. Acest lucru ar însemna, potrivit autorilor citați, că e inutilă căutarea intensiunii unei categorii, mai ales prin folosirea metodelor obișnuite. Ei sunt de părere că stabilitatea perceptelor și a conceptelor constă nu atât în intensionalitatea lor, cât în relația pe care o au cu mediul. Prin urmare, în cercetările empirice, ar trebui să se acorde o atenție sporită urmăririi paternurilor și a discontinuităților fenomenologice.

Dintre cercetările empirice cu privire la învățarea conceptelor în decursul dezvoltării ontogenetice, cea a lui Thelen (1992) se numără printre puținele care fac referire la o interpretare dinamică a rezultatelor obținute. În cadrul său s-a investigat învățarea de către copii a unor concepte cu dimensiuni polare, cum ar fi mare-mic, slab-puternic etc. Thelen (1992) emite ipoteza că o astfel de învățare ar reflecta formarea unui sistem dinamic în care converg și concurează mai multe forțe, nu doar influența limbajului sau a senzațiilor fiind importantă, ci și interacțiunile acestora cu contexte reale diverse.

La fel, van der Maas şi Molenaar (1992, în van Geert, 1994), bazându-se pe date empirice, au elaborat un model dinamic al dobândirii noţiunii complexe de conservare prin utilizarea teoriei catastrofelor. Ei au încercat să demonstreze că, din punct de vedere matematic, trecerea la stadiul conservării e o catastrofă reală de tip punct şa, ţinând cont de cele opt trăsături distinctive ale unei astfel de catastrofe. Pentru a verifica ipoteza emisă, ei au organizat un studiu longitudinal în care au reuşit să obţină o densitate mare a măsurătorilor. Rezultatele acestuia au indicat existenţa unei distribuţii bimodale a scorurilor, cu foarte puţin scoruri intermediare pentru performanţa la probele de conservare. Nu au putut evidenţia un salt brusc decât la anumiţi copii, la cei care se aflau în cursul investigării la mijlocul perioadei lor de tranziţie. Restul au prezentat mai degrabă rezultate care au indicat progrese marcate, accelerate. Dovezile privitoare la apariţia fenomenului de hysteresis au fost mai mult indirecte, fiind prezente la copiii surprinşi în cursul tranziţiei. Dar, pentru că nu a fost posibil ca parametrul de control să fie modificat continuu, hysteresis-ul nu a putut fi relevat în mod direct. Fenomenul divergenţei răspunsului liniar (adică a diferenţierii a două tipuri diferite de comportament după valoarea parametrului de control cu rol separator) a apărut pentru parametrul de control privitor la prezenţa unui program de antrenament al conservării. Rezultatele au indicat că astfel de programe de antrenament au efect la copiii care se află în cursul tranziţiei, dar nu au vreo influenţă când copiii sunt cu adevărat convinşi de nonconservare. Acesta este un fenomen similar celui al zonei proxime de dezvoltare în ceea ce priveşte învăţarea unor concepte, în sensul că o astfel de zonă va depinde de stabilitatea stadiului de dezvoltare în care se află un copil. Ea va fi cu atât mai mare cu cât instabilitatea nivelului dezvoltării va fi mai mare. Datele au arătat şi că mărimea efectului perturbaţiilor (contrasugestiile experimentatorului, după ce copilul a dat un răspuns, pentru a-l determina să şi-l schimbe) sunt în funcţie de apropierea de un prag critic. Cu alte cuvinte, a apărut tendinţa ca perturbaţiile (informaţiile) primite în perioada care precede un salt în înţelegerea conservării să aibă o influenţă mai mare decât cele care apar altcândva. Concluzia autorilor menţionaţi mai sus a fost că, deşi datorită dificultăţilor metodologice nu a fost posibil să se identifice toate semnele caracteristice catastrofei de tip şa, un astfel de model dinamic este, totuşi, plauzibil, datele fiind în parţial acord cu acesta.

Din păcate, actualmente nu există studii empirice care să fi investigat în mod direct dinamica unui proces de formare de categorii pe

baza unor exemplare date într-o fază de învățare. Așa cum remarcă și Lamberts (2000, în Spivey și Dale, 2004), este un lucru neobișnuit ca cercetătorii categorizării să acorde atenție dinamicii acestui proces, concentrându-se aproape exclusiv pe rezultatul său.

Din cele expuse, se poate conchide că, în ceea ce privește abordarea dinamică a categorizării și a reprezentărilor conceptuale, până acum, s-a conturat idee dominantă că atractorii ar putea fi structurile dinamice potrivite pentru a coda informația de natură conceptuală. O astfel de idee a inspirat, însă, mai mult cercetări bazate pe simulări în rețele conexioniste și doar într-o foarte mică măsură studii experimentale în cadrul psihologiei cognitive. Liniile directoare ale unei interpretări dinamice a reprezentărilor conceptuale ar fi următoarele:

a) nu pot fi definite pe baza unei liste fixe de proprietăți, ci în funcție de elemente dinamice aflate în interacțiune;

b) sunt rezultatul emergent al unor sisteme dinamice complexe capabile de autoorganizare (senzorial-motorii sau de nivel superior), procesul formării lor fiind unul circular (nu doar de la trăsături către concepte, ci și invers, de la concepte la crearea de trăsături);

c) sunt flexibile, schimbându-se în funcție de contextul intern și extern, dar au, în același timp, un grad mai mare de stabilitate în raport cu alte reprezentări mintale;

d) sunt active, intrând în interacțiune cu alte concepte sau reprezentări perceptuale, fiind capabile nu doar să stocheze informația, ci și să o "prelucreze" în mod direct, dinamismul lor generând procesele inferențiale.

Interpretarea dinamică a proceselor rezolutive

Rezolvarea unei probleme (fie că este vorba de o sarcină de raționament, de găsire a unei soluții pentru depășirea unui obstacol într-o situație concretă sau abstractă, de descoperire a unei necunoscute, de predicție sau evaluare, de realizare a unei decizii) reprezintă o activitate cognitivă de cel mai înalt nivel prin complexitatea sa. În același timp, ea este și una în care dinamismul intrinsec al sistemului cognitiv este cel mai evident, exprimând cel mai mult partea activă a cogniției, contribuția subiectului în procesul cunoașterii. Și totuși, în mod paradoxal, deși este atât de complexă, ea poate fi realizată la fel de spontan și fără efort ca și

activitățile cognitive de nivel inferior, mai simple. La fel de paradoxal e și faptul că, deși dinamismul său intern este atât de evident, ea continuă să fie modelată prin sisteme computaționalist simbolice care presupun o programare externă, manipularea prin reguli impuse din afară a unor simboluri fizice discrete și pasive. Chiar dacă astfel de sisteme nu au avut, până acum, un real succes în a modela părțile cele mai specifice ale cogniției umane, flexibilitatea și activismul său în soluționarea problemelor, computaționalismul simbolic domină încă peisajul cercetării proceselor rezolutive. Totuși, în ultimele două decenii, poziția sa a început să fie din ce în ce mai amenințată de un curent alternativ de gândire. El se sprijină pe contribuții provenind din mai multe direcții de cercetare, dar care toate converg înspre o abordare în care se recunoaște rolul dinamicii în cogniția superioară. În acest curent se înscriu contribuțiile unor cercetători din psihologia socială, ale susținătorilor conexionismului și ai cogniției încorporate, ale celor care sprijină o investigare a proceselor cognitive superioare și a proceselor neurofiziologice de la baza lor prin intermediul conceptelor TSDN, ale unor experimentaliști sau ale celor care propun o sinteză a abordării dinamice și a celei simbolice prin elaborarea de modele artificiale hibride.

Pentru început, se vor prezenta câteva astfel de contribuții în care se statuează o serie de principii ale unei abordări dinamice a proceselor cognitive superioare din activitățile rezolutive, o parte dintre ele reiterând idei care se regăsesc și în secțiunile anterioare.

O primă astfel de contribuție este una care reușește să formuleze, într-un limbaj obișnuit, principalele teze ale interpretării dinamice a gândirii rezolutive. Ea îi aparține lui Billig (1991), potrivit căruia, în psihologia cognitivă tradițională, a fost omis un fapt esențial. Aceasta (psihologia cognitivă tradițională) s-a concentrat exclusiv pe evidențierea "regulilor gândirii" care ar trebui urmate sau sunt urmate de fapt, ignorând că regulile "nu există numai pentru a fi urmate", ci ele trebuie "create, interpretate, încercate". Pentru a realiza astfel de sarcini, subiecții umani trebuie să gândească și nu să urmeze alte reguli fără să se gândească. Billig (1991) observă că, într-o perspectivă tradițională, gânditorul e văzut ca un birocrat care urmează cu strictețe procedurile instituției, nepunându-se astfel în evidență natura dinamică și conflictuală a gândirii. Ea ar putea fi însă relevată prin studiul retoricii, al gândirii argumentative. Gândurile private ar avea, de fapt, aceeași structură și procesualitate ca și argumentațiile publice. Perspectiva asupra gândirii ca

simplă urmare de proceduri este una care, în concepția autorului citat, degradează statutul său, pentru că, de fapt, se referă la procese care sunt "principial lipsite de gândire". Ele apar în situații în care se urmează reguli mintale sau sociale, fără ca gândirea să intervină în vreun fel, printr-o confirmare automată a unor supoziții anterioare.

În concepția lui Sun (1996), paradigma "simbolică" nu a fost capabilă să trateze unele probleme fundamentale ale modelărilor capacităților cognitive superioare de tipul celor rezolutive și, de aceea, există necesitatea de a explora căi alternative pentru a progresa. El semnalează faptul că există deja unele modele conexioniste dinamice care au înregistrat câteva reușite, simulând procese cognitive de nivel înalt, fiind uneori mai realiste și mai detaliate decât cele "simbolice". Levy și Pollack (2001) remarcă însă că, în trecut, modelarea proceselor simbolice recursive, caracteristice gândirii logice, prin rețele neuronale conexioniste, a înregistrat un succes limitat din cauza obstacolelor puse de metodele conexioniste clasice, care au ignorat complet problema reprezentărilor simbolice tradiționale și a regulilor. Acest lucru ar fi condus la incapacitatea lor de a modela aspectele sistematicității și generativității în prelucrarea informației. De aceea, autorii citați se consideră adepții unei noi abordări în modelarea conexionistă, una care a fost numită de inițiatorii ei, Horgan și Tienson (1989, în Levy și Pollack, 2001), ca fiind de tipul "reprezentare fără reguli". În cadrul acesteia, se recunoaște nevoia existenței unor reprezentări cu structură compozițională, sistematică (ca proprietate în comun cu reprezentările simboliste), dar, pe de altă parte, se apreciază ca necesară respingerea noțiunii tradiționale de regulă. În acest sens, ei propun un model de memorie autoasociativă recursivă (în engleză, "Recursive Auto-Associative Memory": RAMM) care ar permite simularea unor procese rezolutive de nivel superior, alcătuit din două rețele conexioniste separate: una de codare și alta de decodare. Comportamentul rețelei compuse este evaluat prin folosirea noțiunilor din TSDN, dat fiind că este o rețea care presupune iterarea unor funcții, care sunt aplicate recursiv punctelor dintr-un spațiu bidimensional.

La fel, Noelle și Cottrell (1996) susțin că e posibilă redarea sistematicității în prelucrarea informației în cadrul rețelelor conexioniste prin intermediul așa-numiților *atractori articulați*, care au bazine care apar din interacțiunea compozițională a atractorilor care se formează explicit, prin antrenarea rețelei cu stimuli. Astfel de atractori sunt generați, conform autorilor citați, în mod sistematic, producând bazine prin care se

codează paternuri de activare noi, dar care au un sens în raport cu stimulii cu care a fost antrenată inițial rețeaua.

Pentru Uhr și Honavar (1994), singurele rețele conexioniste care sunt capabile de performanțe care corespund unor activități cognitive superioare, putând învăța secvențe și gramatici simple (Giles et al., 1992, în Uhr și Honavar, 1994), sunt cele recurente, care prezintă atractori haotici în spațiul fază al ponderilor și activărilor neuronilor. Ei remarcă noutatea pentru calculul neuronal a ideii că un atractor haotic poate corespunde unei clase de stimuli, având în vedere că majoritatea rețelelor artificiale aveau, până nu cu mult timp înainte, atractori de tip punct fix.

Kentridge (1994) are o abordare mai elaborată, stabilind câteva cerințe cu privire la proprietățile necesare atractorilor unei rețele pentru ca dinamica acesteia să coincidă cu cea specifică sarcinilor cognitive superioare, printre care se numără și cele rezolutive. Procesele din cadrul unei astfel de rețele ar trebui să fie nu doar dependente de timp, dar să fie și predictibile și să permită generalizarea. Acest lucru ar însemna că atractorii trebuie să "ocupe regiuni relativ mici și compacte" ale spațiului fază, pentru a satisface cerința predictibilității. Bazinele lor, însă, trebuie să fie "relativ largi", pentru a satisface cerința capacității de generalizare, pentru că doar în această situație stimuli diferiți vor conduce la realizarea aceluiași comportament. În plus, pentru rețele complexe, cu un număr mare de neuroni, atractorii ar trebui să aibă o dimensionalitate redusă, exprimând un grad ridicat de coerență în comportamentul sistemului rețelei. O alternativă la atractorul cu dimensionalitate redusă ar fi cea propusă de Freeman (1991, în Kentridge, 1994), ca model dinamic pentru identificarea mirosurilor, prezentat mai sus. În acest caz, atractorul de bază al sistemului dinamic al rețelei neuronale olfactive are o dimensionalitate ridicată, fiind haotic, dar el este constituit din lobi care au orbite cu o dimensionalitate redusă, în care comportamentul sistemului este puternic constrâns și către care sistemul este atras la apariția unor stimuli olfactivi specifici. Ei joacă rolul unor perturbații minore care mută sistemul din atractorul haotic într-unul din loburile sale. În ceea ce privește modelarea dinamică a proceselor simbolice, cum ar fi limbajul și gândirea, Kentridge (1994) consideră necesară apariția a ceea ce el numește "dinamică critică". Ea înseamnă o evoluție în timp, determinată de modificarea parametrilor de control, care ar muta un sistem dinamic între regimuri funcționale corespunzând unor comportamente calitative discrete, separate prin valorile critice ale parametrului de control. După

cum se ştie, astfel de valori critice se schimbă în funcţie de context şi sunt dependente de timp.

O altă propunere de îmbunătăţire a modelelor conexioniste pentru ca la nivelul lor să se poată simula procesele semantice caracteristice cogniţiei superioare este făcută de Tsuda (1991), el susţinând că dinamica unor astfel de modele trebuie să fie una de tipul itineranţei haotice. În concepţia sa, o prelucrare a informaţiei care să fie dependentă de context ar putea fi văzută ca o emergenţă a unor moduri colective de activitate neuronală. Ele vor depinde de traiectoria sistemului conexionist, dinamica acestuia fiind caracterizată printr-o mişcare itinerantă între cvasiatractori. Tsuda (1991) crede că parametrii de ordine rezultaţi prin autoorganizarea reţelelor neuronale ar fi capabili să furnizeze o cale de reprezentare a proceselor semantice.

Şi Hardy (1998) întrezăreşte posibilitatea unei legături între o abordare de tip conexionist şi ştiinţa haosului sau a complexităţii, ca o cale de a elabora o teorie a proceselor de gândire de nivel superior, numită a "câmpurilor dinamice". În concepţia sa, atât gândirea, cât şi învăţarea, sunt văzute ca procese care se bazează pe ceea ce numeşte ea a fi o logică de tip "conectiv", incluzând o dinamică neliniară, şi nu pe una de tip computaţional. Potrivit teoriei propuse de Hardy (1998), gândirea ar avea ca suport o reţea (latice) de constelaţii semantice numeroase. Ele reunesc într-un întreg, în cadrul reţelei care se comportă ca un sistem dinamic, diferite elemente şi procese: nu doar concepte, ci şi senzaţii, acţiuni, cuvinte, amintiri etc. Legăturile dintre elementele acestui sistem dinamic sunt modificate prin experienţă, astfel încât o constelaţie semantică este capabilă de autoorganizare ca răspuns la influenţele externe. Gradul de coerenţă a reţelei dinamice ar exprima sensul pe care respectiva constelaţie semantică îl are. Se constată că o astfel de teorie este una de tipul cogniţiei încorporate, pentru că vede gândirea nu ca fiind izolată într-un plan abstract, ci ca profund întreţesută cu procesele senzoriale, motorii, afective sau hormonale. De asemenea, procesele gândirii logice nu sunt privite ca fiind unele de nivel superior, care solicită efort, ci mai mult ca procese de bază, naturale, care se desfăşoară printr-o dinamică de tip conectiv de nivel scăzut, adică de formare spontană de legături.

Hardy (1998) descrie aceste procese astfel: grupări de constelaţii semantice sunt atrase către şi se conectează la alte grupări de constelaţii semantice cu care sunt înrudite. Există o dinamică atât în cadrul unei constelaţii semantice, cât şi între constelaţiile semantice. Procesul activării semantice este declanşat, în principal, de asemănările dintre grupările

de constelaţii semantice. Dar, pentru că vor exista, în mod necesar, şi diferenţe între aceste grupări, dată fiind complexitatea lor, vor fi posibile şi procesele de discriminare şi diferenţiere sau de schimbare selectivă a legăturilor din cadrul unei constelaţii dinamice. Prin urmare, procesele experienţei subiective, a formării sensului şi cele de învăţare nu pot fi distinse, ele bazându-se pe aceeaşi dinamică a constelaţiilor semantice, care se autoorganizează. Ca un sistem dinamic complex, gândirea va interacţiona cu sistemele dinamice complexe din exterior, care şi ele se autoorganizează, învăţând astfel dinamica lor evolutivă şi modul lor de organizare. Legăturile în lanţ dintre procese sunt interpretate ca traiectorii în spaţiul stare al sistemului dinamic al unei grupări de constelaţii semantice, iar aceste constelaţii semantice, ca atare, sunt concepute ca fiind bazinele de atracţie ale unui astfel de sistem dinamic. Atractorul e descris ca o "forţă convergentă care încurajează mintea să urmeze aceleaşi căi în cadrul reţelei". Dar, la fel precum sugerează şi Abraham, Abraham şi Shaw (1990, în Hardy, 1998), constelaţiile semantice, ca sisteme dinamice neliniare, pot suferi bifurcaţii, reorganizări ale structurii de atractori a spaţiului stare, aceştia putând să-şi modifice intensitatea sau tipul. De aceea, procesele de bifurcaţie şi corelatele lor la nivelul fenomenologiei gândirii, adică formarea sau disoluţia legăturilor semantice, sunt considerate a fi forţe divergente, care determină mintea să nu mai urmeze aceleaşi căi ca în trecut (Hardy, 1998). În comparaţie cu abordările behavioriste sau cu cele computaţionale, gândirea nu e văzută de autoarea menţionată ca fiind "obligată să urmeze operaţii predefinite", nu e forţată să existe în nişte cadre date ale experienţei trecute. Proprietăţile dinamice care permit autoorganizarea ar oferi ocazia memorizării soluţiilor trecute fără ca să se forţeze repetarea lor automată. Hardy (1998) subliniază că acest lucru ar însemna că un model dinamic al gândirii îi conferă acesteia, simultan, stabilitate şi flexibilitate, permiţând apariţia, printr-un acelaşi proces, deopotrivă a deprinderilor în gândire şi a creativităţii. Gândirea poate urma "căi ale minimei rezistenţe", ceea ce din punct de vedere dinamic ar reprezenta urmarea unor traiectorii deja formate, corespunzătoare unor paternuri de gândire "fixate", mai stabile. Însă, în acelaşi timp, gândirea poate să depăşească obiceiul, prin adoptarea unei stări exploratorii şi menţinerea într-o stare de instabilitate ridicată a constelaţiilor semantice, astfel încât să fie posibilă realizarea şi integrarea unor modificări produse de noi experienţe. În plus, Hardy (1998) evidenţiază faptul că o abordarea dinamică a gândirii oferă posibilitatea de a concepe

interacțiuni nonlocale, influențe reciproce între câmpuri semantice îndepărtate.

Necesitatea unei legături dintre o dinamică mai complexă, care ar putea fi de tip haotic, a modelelor conexioniste şi posibilitatea lor de a avea comportamente similare celor care apar în activitățile cognitive de cel mai înalt nivel a fost remarcată şi de Combs (1995). El susține că, având în vedere că procesele neurologice (Pribram, 1994, în Combs, 1995) şi alte procese psihice, cum ar fi cele afective, par a trece succesiv între paternuri de comportament relativ haotice şi ciclice şi chiar statice, nu există vreun motiv să nu se presupună că alte procese psihice, cum ar fi cele de memorie sau de gândire, nu au astfel de treceri de la un regim constant la unul ritmic, combinate cu perioade de schimbare de tip haotic. El apreciază că, de fapt, nu este, în mod obligatoriu, vorba de o trecere de la un regim la altul, o alternativă fiind existența unui atractor matematic foarte complex, care ar putea fi evidențiat doar printr-o urmărire a dinamicii pe termen mai lung. O observare a acesteia pe perioade mai scurte ar crea impresia că sistemul intră şi iese succesiv dintr-un regim haotic. Utilitatea plasării unui sistem la marginea haosului sau într-un atractor complex este justificată, conform lui Kauffman (1993, Combs, 1995), prin faptul că, astfel, e posibilă coordonarea unor sarcini mai complexe, adaptarea în medii mai variate. Motivul este acela că haosul împiedică sistemul să se stabilizeze într-o regiune atractoare restrânsă, când sistemul nu ar avea acces şi la alte stări, care ar fi mai favorabile pentru a răspunde cerințelor mediului. De exemplu, în cursul unui proces de rezolutiv, haosul poate fi un antidot al apariției blocajelor.

La fel, Hashimoto şi Masumi (2005) propun o abordare a activităților simbolice în cadrul TSDN în care susțin că funcțiile acestora s-ar putea realiza, cel mai probabil, în cadrul unei rețele conexioniste cu comportament haotic. Precum alți autori citați mai sus, şi ei pleacă de la ideea că funcția reprezentativă a simbolurilor ar fi îndeplinită prin procesul în care anumite-inputuri aduc un sistem dinamic într-o anumită stare, care, după cum indică studiile actuale, ar fi, probabil, una de tip atractiv. Ei sugerează, apoi, căi posibile de interpretare dinamică a fenomenelor care, în abordările clasice, sunt văzute ca manipulări de simboluri. Astfel, procesul de formare de noi reprezentări simbolice conceptuale pe baza altora vechi ar fi posibil să se realizeze prin gruparea atractorilor corespunzători conceptelor vechi prin caracteristici ale lor, cum ar fi dimensionalitatea. Aplicarea unor reguli ar fi modelată prin

tranziții ordonate între atractori de tipul itineranței haotice, de exemplu, ea putând fi indusă însă și de secvențe de inputuri.

Din punct de vedere strict teoretic, Newtson (1994) speculează, abordând o perspectivă dinamică asupra fenomenelor mintale, asupra funcției îndeplinite de procesele cognitive de nivel superior în cadrul sistemului psihic. El apreciază că, la fel ca și cele emoționale, ele ar avea rolul de a stabiliza temporal fluxul informațional extern prin intermediul unei dinamici interne specifice. E de presupus că acest rol stabilizator este cel mai pregnant tocmai la nivelul proceselor rezolutive.

La nivel metodologic, Vallacher și Nowack (1994a) observă că dinamismul gândurilor, fie că e vorba de procese de evaluare sau rezolutive, poate fi pus în evidență doar ținând cont de anumite scale de timp și în raport cu anumiți parametri de control ai procesului de gândire investigat atunci când se face înregistrarea fluctuației sale.

Recunoașterea importanței considerării aspectelor dinamice ale proceselor de gândire s-a făcut și de către autorii care au propus modele în care încearcă integrarea computaționalismului simbolic cu o viziune dinamică. Pentru că, pentru mulți cercetători, o abordare bazată pe TSDN înseamnă, de fapt, o abordare cantitativă, s-a presupus că, în ceea ce privește procesele cognitive de nivel superior (de exemplu, raționamentul, limbajul), ea nu poate avea aplicații, dat fiind faptul că acestea ar avea, în principiu, un caracter calitativ (Jonker și Treur, 2002). Simțindu-se, totuși, nevoia de a se include în studiul lor o parte dinamică, s-au propus în științele cognitive și, mai ales, în cadrul inteligenței artificiale, tehnici alternative, care realizează o analiză a dinamicii prin mijloace calitative (Jonker și Treur, 2002). Jonker și Treur (2002) enumeră câteva astfel de tehnici: algebra proceselor, sisteme de tranziție, logica dinamică și temporală, calculul evenimentelor, al situațiilor și cel fluent, care permit să se considere și să se relaționeze stările unor procese la momente diferite de timp.

Poziția pe care o susțin personal este însă aceea că, deși tehnicile menționate mai sus oferă o descriere a evoluției fenomenelor în timp la fel ca și cea prin ecuații diferență sau diferențiale, TSDN are avantajul, în raport cu acestea, că furnizează mai mult decât o descriere, e mai mult decât un formalism sau un instrument de analiză. Ea poate servi la o reconceptualizare a unui fenomen temporal studiat, la o schimbare de perspectivă asupra lui, cauza schimbărilor în timp fiind considerată a se datora nu aplicării din exterior a unor operatori, ci unui proces intern recursiv. Pentru o abordare bazată pe TSDN, nu se află, în prim plan, preocuparea de a reda modelele succesiunii temporale, ci de a explica

modul în care din continuitate este posibil să apară comportamentul discontinuu sau cum, dintr-un proces repetitiv iterativ extrem de regulat apar comportamente cu o organizare complexă. În plus, se admite că în cadrul TSDN există şi metode calitative de studiu, cea mai cunoscută fiind cea bazată pe teoria catastrofelor, iar cerința referitoare la continuitatea variabilelor dinamice nu este una obligatorie pentru a defini un sistem dinamic, adică una care să fie recunoscută de toți teoreticienii TSDN. Prin urmare, nici din acest punct de vedere, tehnicile de analiză temporală calitativiste nu sunt, în mod necesar, superioare TSDN. Mai mult, folosind exclusiv astfel de tehnici, este posibil să se piardă două avantaje oferite de TSDN, amintite şi într-o secțiune anterioară. Primul este acela că, prin intermediul său, sunt şanse să se integreze procesele cognitive superioare cu cele inferioare. Al doilea, menționat de Tsuda (2001), după cum se va vedea şi mai jos, e acela că, utilizând dinamicile neliniare, ar fi posibil să se explice aspectele analogice ale computației inferențiale, pe care teoriile clasice simbolice nu au fost capabile să le abordeze. De aceea, cred că TSDN nu poate fi înlocuită complet de aceste noi formalisme, chiar dacă şi ele îşi propun să descrie procese dinamice.

O încercare de îmbinare a simbolicului şi a dinamicului în modelarea fenomenelor cognitive superioare s-a realizat şi prin elaborarea unor rețele neuronale hibride. Ele conțin două părți. Una este aceea în care, într-o primă fază, emerg reprezentări dinamice sub forma unor paternuri de activare care se află în competiție. Cealaltă este cea în care, într-o a doua fază, reprezentarea care câştigă competiția din prima fază, dobândind prin stabilitatea ei un caracter simbolic, este integrată într-un sistem computațional guvernat de reguli (Spivey şi Dale, 2004). Dar, aşa cum remarcă Spivey şi Dale (2004), un neajuns al unor astfel de modele este acela că ele presupun o separare drastică dintre o parte a minții care funcționează după principiile dinamicii neliniare la nivelul proceselor de activare neuronală şi o altă parte a minții care funcționează în dezacord cu descrierile date proceselor neurofiziologice.

Prin urmare, ar fi prematur să se renunțe din start la instrumentele conceptuale şi metodologice ale TSDN pentru a analiza şi modela procesele cognitive superioare, numai pentru că se presupune, în mod greşit, că ele s-ar referi, exclusiv, la procese cantitative continue. Ar fi nevoie de eforturi mai mari pentru o explorare extinsă a posibilităților conceptelor TSDN şi a teoriilor conexe de a oferi modele dinamice mai detaliate decât cele existente la ora actuală. În aceeaşi direcție, a problemei integrării dintre dinamic şi simbolic, este importantă şi o remarcă a lui Clark (1997), care

vede dihotomia simbolic – dinamic şi din perspectiva tipului de control psihic. El arată că ar trebui să se depăşească dihotomia control programat - neprogramat, pentru că ar exista un continuum de posibilităţi legate de cât de mult se pot specifica instrucţiunile unui program de control şi comandă. De aceea, în ceea ce priveşte chestiunea dacă creierul este sau nu un dispozitiv computaţional, existenţa unor programe interne stocate nici măcar nu este esenţială, important fiind în ce măsură există tranziţii între stări reprezentaţionale care să fie semantic sensibile. Prin urmare, în concepţia sa, nu este de interes capital modul în care se realizează aceste tranziţii (dinamic sau prin concatenare prin intermediul unui program), câtă vreme ele sunt semantic sensibile, adică sunt în funcţie de sensul stărilor reprezentaţionale. Din această perspectivă, e de presupus că şi un model dinamic poate fi simulat prin intermediul unui program, dar specificările pe care le realizează instrucţiunile acestui program cu privire la comportamentul unui sistem sunt de alt tip decât cele realizate de unul care simulează un model simbolic.

Interpretarea dinamică a proceselor de raţionament

O serie de autori s-au referit, în studiile lor, într-un mod mai detaliat, la aspectele dinamice ale gândirii logice sau analogice fie direct, fie indirect, prin descrierea dinamicii interne a reprezentărilor conceptuale sau a proceselor de memorie. Câţiva dintre ei au propus chiar modele generale pentru diferite forme specifice de raţionament (deductiv, analogic).

Lucrările cele mai semnificative pentru o perspectivă dinamică asupra gândirii analogice îi aparţin lui Thom (1983, în Porte, 1994). Conform acestuia, teoria catastrofelor elaborată de el nu este atât o teorie matematică, ci un demers prin care s-a încercat să se "aprofundeze noţiunea de analogie". Cele şapte catastrofe elementare sunt apreciate de el ca fiind un instrument analogic "de o mare precizie şi o putere uimitoare", câtă vreme o serie de fenomene extrem de diferite (de exemplu o pisică mâncând un şoarece, o găină clocind un ou, o amoebă care expulzează o vacuolă excretoare, un arcaş aruncând o săgeată) pot fi interpretate printr-un singur tip de catastrofă ca procese dinamice (în cazul dat ca exemplu, printr-o catastrofă de tip pliu). Un astfel de demers sugerează posibilitatea de a concepe unele procese ale gândirii analogice ca bazându-se pe capacitatea creierului de a distinge dinamicile fundamen-

tale corespunzătoare catastrofelor elementare, întemeind raporturile de asemănare pe criterii care ţin de dinamismul unor fenomene. Aceste criterii vizează aspecte mai profunde ale fenomenelor, depăşindu-se astfel deosebirile mari privind trăsăturile lor superficiale.

Modelul semiofizicii elaborat de Thom (1983, în Porte, 1994) ar avea relevanţă şi pentru o interpretare dinamică a proceselor de raţionament de tip silogistic. Conceptul este văzut în cadrul semiofizicii ca o pregnanţă (singularitate călătoare), care se propagă prin contiguitate sau similaritate. Se poate emite ipoteza că raţionamentele silogistice reprezintă dinamici învăţate sau emergente de ordin superior care au rolul de a controla dinamica conceptelor, propagarea lor ca pregnanţe în reţeaua conceptuală. În plus, modelul în discuţie oferă şi sugestia că modificarea relaţiilor dintre două reprezentări conceptuale nu s-ar datora neapărat schimbării reprezentării relaţiei lor, ci schimbării structurii substratului dinamic care le-a generat pe ambele. Ca urmare, nu ar fi vorba, în mod necesar, de interacţiuni directe între reprezentări conceptuale, ci de o dinamică globală care are ca rezultat schimbări la nivelul raporturilor între pregnanţele (corespunzătoare conceptelor) care se pot distinge în cadrul acesteia.

Eliasmith (1996) evidenţiază o consecinţă importantă pentru înţelegerea proceselor logice a aplicării TSDN în psihologia cognitivă. El susţine că, prin cuplarea ecuaţiilor unui sistem dinamic, schimbarea unei variabile va avea un efect imediat asupra altor părţi variabile ale sistemului. Prin urmare, dacă procesele cognitive sunt de natură dinamică, nu mai e nevoie să existe o reprezentare care să treacă de la o componentă la alta a sistemului psihic pentru a transmite informaţia cu privire la schimbarea uneia din ele către celelalte. Cu alte cuvinte, ideea de cuplare ar înlocui ideea de "transmitere a reprezentării" sau a informaţiei în cursul unor procese logice.

În cadrul unui model dinamic speculativ pe care l-a elaborat pentru înţelegerea proceselor semantice, Dimitrov (2000) susţine că este posibil ca sensul să fie interpretat ca fiind un atractor straniu cu structură fractală. Argumentele pe care le invocă sunt prezenţa autosimilarităţii sensului la diferite scale de explorare şi capacitatea sa de a evolua, de a se transforma în timp şi de a iniţia noi sensuri. Apariţia sensurilor noi o explică prin procesele de bifurcaţie în dinamica semantică, numite de el crize. Acestea ar fi, în concepţia sa, de mai multe tipuri: de fuziune a unor atractori (sensuri), care ar corespunde proceselor de sinteză ale gândirii, de

separare în mai mulți atractori, similare proceselor de analiză, sau bifurcații de graniță, prin care energia eliberată prin desființarea unui atractor servește la creșterea capacității de producție a altora. Adoptarea unui sens dogmatic este interpretată ca expansiune a unui atractor astfel încât nu mai lasă loc formării altora, ceea Dimitrov (2000) numește a fi o criză de interior, iar pierderea unui sens este echivalată cu restrângerea unui atractor, până la dispariția sa totală, ceea ce s-ar numi criză de împachetare interioară. Este de presupus că astfel de "crize" ar putea fi caracteristice și proceselor de raționament, deoarece și în cadrul lor sunt generate noi sensuri.

Goertzel (1996), în modelul buclelor perceptual-cognitive, prezentat mai pe larg într-o secțiune anterioară, propune o interpretare dinamică a teoriei "selecției grupurilor neuronale", numită și a darwinismului neuronal, elaborată de Edelman în 1987, utilă și pentru a explica procesele de raționament. Potrivit acestei teorii, unitatea biologică fundamentală e grupul neuronal. Gândurile ar fi "aplicații", asociații (în engleză, "maps"), de grupuri neuronale, colecții de astfel de grupuri, interrelaționate, care evoluează prin selecție naturală. Ea înseamnă că o asociație va supraviețui dacă va fi stimulată puternic și continuu de alte asociații neuronale sau dacă o astfel de asociație are o capacitate ridicată de a se autostimula (cazul cel mai frecvent). Adică asociațiile, ca și asociațiile de asociații, vor supraviețui dacă vor fi conectate într-o modalitate autosuportivă. Concluzia lui Goertzel (1996) este că proprietatea cheie a unui concept sau a unei operații cognitive este gradul său ridicat de autosusținere. Interpretarea dinamică pentru o aplicație (asociație) care se autosusține este dată de noțiunea de atractor (de tip punct fix, ciclic sau, de cele mai multe ori, un atractor straniu) sau de ceva ce ar aproxima un atractor pentru dinamica neuronală. Ea îl conduce pe Goertzel (1996) la emiterea ipotezei că a coerentiza, la nivelul proceselor gândirii, inputul extern care intră în bucla perceptual-cognitivă, mai precis percepțiile care se formează pe baza acestuia, înseamnă a-l înlocui cu un percept (concept) aproximativ echivalent, care este capabil să se autoreproducă mai mult decât cele inițiale, având un caracter mai pronunțat de atractor. Prin urmare, coerentizarea informației externe presupune un proces iterativ, dinamic, de căutare a unui atractor prin care se va integra informația într-un patern. Prin accentul pe care îl pune pe ideea de selecție naturală a reprezentărilor, abordarea sa seamănă mult cu aceea a lui Hofstadter (1996), prezentată mai sus, și cu concepția care stă la baza

programării prin algoritmi genetici, fiind o variantă dinamică a acestora. Se întrevede posibilitatea ca, în mod particular, și în cadrul proceselor de raționament, să fie necesară o coerentizare similară a inputului extern (dat prin premise) și a celui intern printr-un proces iterativ asemănător, finalizat cu derivarea unei concluzii prin găsirea unui atractor potrivit.

Într-un mod mult mai explicit decât autorii citați mai sus, Sabelli (1995) distinge între o logică statică și una dinamică. În concepția sa, logica statică ar contrazice trei postulate ale logicii dinamice: neagă devenirea în definirea identității, neagă coexistența opozițiilor prin principiul noncontradicției, iar existența și generarea unei multiplicități de alternative sunt excluse ca și cazuri terțe. El consideră că preferința pentru modele statice e de înțeles, pentru că ea ar reflecta una din realizările cele mai importante ale dezvoltării psihice: recunoașterea unei identități stabile a persoanelor și obiectelor în cadrul fluxului perceptual. Acest mod de gândire ar reflecta și dorința de permanență, care împiedică o reflectare obiectivă a naturii dinamice a realității. De asemenea, preferința pentru gândirea în opoziții mutual exclusive și ireconciliabile o explică prin lipsa de experiență sau prin prezența unui conflict afectiv. De aceea, gândirea primitivă și cea patologică s-ar caracteriza printr-o astfel de judecată în alb și negru. Prin urmare, teoriile logice umane sunt apreciate ca fiind influențate de dinamica altor procese psihice, cum sunt cele afective, și chiar de dinamica dezvoltării sistemului cognitiv. Sabelli (1995) respinge și bivalența din logica statică, în temeiul incapacității ei de a conduce la creația a ceva nou.

Ținând cont de cele de mai sus, Sabelli (1995) conchide că susținerea în continuare a unei logici statice s-ar justifica numai dacă ar exista convingerea fermă că structurile permanente sunt forma fundamentală a realității. Pentru că el nu poate fi convins de adevărul acestei teze, a propus un model pentru o logică dinamică. În cadrul său, el consideră că există trei paternuri diferite de gândire rațională: deducția liniară, opoziția (paradoxul, ruminațiile) și cocreația prin considerarea a două perspective diferite. Aceste trei paterniuri ar corespunde celor trei tipuri fundamentale de atractori: flux liniar (punct fix), recurențe ciclice (ciclic), divergență și convergență (haotic). Implicația logică (dacă-atunci) ar semăna formal cu fluxul liniar, unidirecțional, către un atractor. Gândirea obsesivă și ruminațiile, precum și paradoxurile logice, ar ilustra existența unui raționament logic în cicluri, care seamănă cu atractorii periodici. Paradoxuri ca cel al mincinoșilor exemplifică, în concepția lui Sabelli (1995), ideea

că şi o logică statică are la bază, de fapt, o dinamică. De aceea, în cadrul acestei viziuni, existenţa ciclurilor în raţionament nu şi-ar avea originea într-o eroare fundamentală în formularea axiomelor logicii care ar trebui corectată, aşa cum a făcut Zermelo (citat de Sabelli, 1995) în mod forţat, ci în dinamica proceselor de raţionament. Cea de-a treia relaţie logică e cea mai importantă şi mai creativă. Prin intermediul ei s-ar realiza distincţiile, sintezele, s-ar formula ipotezele, s-ar selecta opţiunile şi s-ar infera cauzele din efectele lor (ca în raţionamentul abductiv care se întâlneşte în diagnosticul medical, de exemplu). Interpretată dinamic, ea seamănă cu efectele care se produc prin influenţe externe în cazul catastrofelor şi atractorilor haotici.

La fel ca Sabelli (1995), şi Grim (1993, în Vezerides şi Kehagias, 2005) sesizează potenţialul unor noţiuni ale TSDN de a explica paradoxurile logice cum sunt cele de tipul paradoxului mincinoşilor. Bazându-se pe astfel de noţiuni, precum şi pe logica fuzzy, el a elaborat un model în care susţine că o colecţie de propoziţii autoreferenţiale (care "vorbesc" reciproc despre valoarea lor de adevăr), aşa cum se întâmplă să fie cele care sunt implicate în raţionamentele care conduc la paradoxuri, alcătuiesc, de fapt, un sistem dinamic, pentru că un comportament iterativ poate fi pus în legătură cu un sistem dinamic. Fiecare propoziţie a colecţiei ar avea o valoare de adevăr fuzzy (vagă) care evoluează în timp şi care corespunde unei variabile dinamice a sistemului dinamic considerat. Este posibil ca un astfel de sistem dinamic care are la bază o colecţie de propoziţii autoreferenţiale să genereze un comportament haotic sau oscilator, prin apariţia neliniarităţii provocate de autorerefrire. El este caracteristic situaţiei în care ne confruntăm cu un paradox, existând o oscilaţie în timp între două concluzii contradictorii. De fapt, soluţia unui astfel de raţionament ar fi rezultatul unui sistem de ecuaţii neliniare care stabilesc relaţiile dintre valorile de adevăr fuzzy ale propoziţiilor.

O pledoarie pentru o perspectivă dinamică asupra raţionamentului e realizată şi de Oaksford şi Chater (1991, în Oaksford şi Malloch, 1994). Ei au fost printre primii care au emis ipoteza că raţionamentul apare "nu dintr-o maşină deductivă cu scop general", ci e rezultatul unei dinamici naturale date de interacţiunea unor reprezentări neuronale. De aceea, ei susţin o modelare a trecerii de la un gând la altul ca fiind o tranziţie de la un atractor de tip ciclu limită la alt atractor de tip ciclu limită. Dezvoltând această idee pe care au avut-o Oaksford şi Chater (1991, în Oaksford şi Malloch, 1994), Oaksford şi Malloch (1994) propun, în primul rând, o

interpretare a schemelor cognitive în cadrul rețelelor neuronale considerate ca sisteme dinamice. Un argument în favoarea unei astfel de interpretări ar fi, potrivit autorilor citați, acela că sistemele dinamice pot oferi structurile articulate temporal caracteristice unei scheme cognitive. Totuşi, ei identifică două probleme care trebuie soluționate pentru a modela dinamic schemele: modul cum se reprezintă relațiile și modul în care se realizează un control ierarhic al proceselor cognitive. Pentru a rezolva problema reprezentării relațiilor, Oaksford şi Malloch (1994) propun ca soluție folosirea, în acest scop, a atractorilor mai complecşi, cum ar fi cei ciclici, după ideea menționată și mai sus. De exemplu, o relație și argumentele sale ar fi reprezentată de stările succesive ale unui atractor ciclic. Pentru cazul unei relații cum este cea de "deasupra" ar fi nevoie de un atractor de tip ciclu limită care are o perioadă de 3 stări, prima din ele reprezentând relația, a doua argumentul referitor la obiectul de deasupra, iar ultima stare ar fi cea corespunzătoare obiectului de dedesubt. Legarea argumentelor de relație se va face prin coincidență temporală. Adică, paternul de activare care reprezintă o instanță a unui argument al relației va fi legat la unul din rolurile argument ale relației după momentul de timp la care a fost activat. Astfel, pentru exemplul de mai sus, dacă paternul reprezentării unei oglinzi va fi activat la momentul celui de-al doilea pas al ciclului atractor al relației de "deasupra", corespunzător rolului de argument "obiect de deasupra", va fi legat de acest rol. Dacă paternul corespunzător unei "chiuvete" va fi reprezentat la al treilea moment al ciclului, corespunzător rolului argument "obiect dedesubt", va fi legat de acesta, creându-se astfel reprezentarea pentru "oglinda deasupra chiuvetei". Dacă se inversează coincidențele temporale, astfel încât paternul pentru oglindă este activ la momentul trei al ciclului, corespunzător rolului "obiect dedesubt", iar paternul pentru chiuvetă va fi activat la al doilea moment, cel al rolului pentru "obiect deasupra", se va reprezenta relația inversă: "chiuveta deasupra oglinzii".

În acest mod, în concepția lui Oaksford și Malloch (1994), s-ar oferi o soluție pentru problema interferenței care a apărut în încercările anterioare de reprezentare a relațiilor în rețele conexioniste. Acestea foloseau reprezentări localiste, adică noduri ale rețelei, pentru relație și argumentele acesteia. Utilizarea unor astfel de rețele conexioniste nu permite reprezentarea, în mod diferențiat, a relației inverse dintre două argumente, cum e și cazul de mai sus, pentru că aceasta interferează cu cea a relației directe. Oaksford și Malloch (1994) cred însă că interferența nu mai apare dacă relația e reprezentată într-un atractor ciclic, pentru că a

fi un argument într-o relație ar corespunde unei trăsături tranziente a obiectelor care sunt legate la rolurile argument și nu unei trăsături constante, care să aibă o reprezentare distinctă și permanentă în rețea. Conform autorilor mai sus citați, parcurgerea ciclului atractor de mai multe ori ar fi analogă cu repetarea cognitivă a unei relații. Pentru o relație cu **n** argumente va fi necesar pentru reprezentare un atractor cu o perioadă de **n+1** pași. Ei susțin că folosirea unei reprezentări distribuite și dinamice, prin stările unui atractor ciclic, pentru a coda o relație și rolurile argumentelor ei în locul unei reprezentări localiste, statice, prin nodurile unei rețele (ca în cazul modelului lui Shastri și Ajjanagade, 1993, în Oaksford și Malloch, 1994) are avantajul că, astfel, sunt posibile tranziții între oricare relații (scheme) reprezentate și nu doar între cele care au argumente comune. Acest lucru ar fi posibil pentru că, în opinia lor, nu există nici un motiv pentru care să nu poată fi învățată sau realizată tranziția între doi atractori.

Și privitor la a doua problemă care se cere soluționată, aceea a controlului ierarhic al proceselor cognitive și a direcționării lor prin scopuri, autorii mai înainte citați propun o rezolvare. Ei sugerează că, în ipoteza în care stările scop sunt privite ca atractori ai unor sisteme dinamice, așa cum propun Rumelhart et al. (1986, în Oaksford și Malloch, 1994), există posibilitatea de a defini o funcție de evaluare globală care să indice proximitatea stării prezente față de starea scop. Cu ajutorul acestei funcții, comportamentul ar putea fi ghidat de scop, fiind posibil un control ierarhic. Comutarea pe un alt punct de pornire a sistemului dinamic, în situația în care nu are loc progresul așteptat spre atractorul stării scop, se va face prin medierea unei autoinstruiri verbale nemanifeste (Rumelhart et al., 1986, în Oaksford și Malloch, 1994). În plus, autoreglarea verbală ar fi importantă ca o sursă suplimentară de activare stabilizatoare care să împiedice tranzițiile nedorite între atractori, datorate zgomotului. Această influență a zgomotului poate să fie una importantă, dat fiind că, după cum arată Oaksford și Malloch (1994), dacă schemele cognitive sunt gândite ca atractori ai unui sistem dinamic complex, atunci ele vor fi intrinsec instabile. O schemă activă la un moment dat va putea fi stabilizată în trei moduri în concepția lui Oaksford și Malloch (1994): 1) prin feedback extern, care să indice că se menține în continuare contextul actual; 2) prin feedback intern, care semnalează menținerea satisfacerii de către schemele activate curent a unui impuls motivațional; 3) prin semnale ale controlului conștient care provin de la

sistemul de activare a atenției, care mediază și efectele autoinstruirii verbale. Prin urmare, autorii mai înainte citați concluzionează că aceeași factori care au fost evidențiați de Norman și Shallice (1988, în Oaksford și Malloch, 1994) ca fiind importanți pentru selecția schemelor cognitive (proeminența stimulului exterior, motivația intrinsecă și instruirea sau comanda explicită) sunt importanți și pentru menținerea lor, ei fiind foarte asemănători cu cei trei factori de stabilizare prezentați mai sus.

Pe baza interpretării schemelor cognitive ca atractori și pe baza ipotezei rolului stabilizator al limbajului pentru acestea, Oaksford și Malloch (1994) sugerează că rezultatele diferite obținute în două variante de administrare a sarcinii de sortare a lui Wason devin explicabile. Este vorba de varianta în care feedback-ul se dă după fiecare sortare și de cea în care informația despre regulile de sortare se dă înainte de a începe sortarea. În primul caz, autorii mai sus citați consideră că cele trei reguli de sortare formează o singură schemă. Interpretată ca o schemă dinamică și nu ca una discretă, este posibil ca ea să nu fie suficient de stabilizată. Prin urmare, unele elemente ale schemei vor fi active și altele se vor pierde, datorită instabilității, tot la fel precum un radio se îndepărtează de frecvența unui post în mod progresiv, neputându-se stabiliza pe frecvența acestuia. Ca urmare, reprezentarea unor reguli individuale care fac parte din schemă, datorită zgomotului, va fi temporar indisponibilă pentru a interpreta feedback-ul dat cu privire la regulile de sortare, ceea ce va conduce la perseverare sau distractibilitate. Perseverarea ar apărea, potrivit celor doi autori, atunci când regulile dispărute sunt cele corespunzătoare unei "clase de contrast", după ce a apărut un feedback negativ. Distractibilitatea ar fi prezentă atunci când dispare, datorită zgomotului, chiar regula de sortare curentă, după primirea unui feedback pozitiv, când singurele reguli disponibile rămân cele din clasa de contrast. Ultimul caz este apreciat a fi mai rar, pentru că se produce când se pierde o singură regulă, ceea ce este mai puțin probabil. Alta e situația în care informația despre regulile de sortare nu este dată prin feedback în timpul sortării, ci este comunicată înainte de a începe sortarea, printr-o informație verbală, în care regulile de sortare sunt denumite. Presupunând că reprezentarea regulii și a numelui său sunt distincte, prin repetare verbală "în gând" a numelui regulii se va stabiliza reprezentarea acesteia în schema care o conține. S-ar explica, astfel, de ce apar mai puține erori de perseverare și distractibilitate în acest caz. Din interpretarea dinamică a relației și a schemelor cognitive decurge apoi, în mod natural, și o interpretare dinamică a raționamentelor, ca relații de relații sau ca scheme cognitive complexe.

O contribuţie în aceeaşi direcţie o are şi Kentridge (1994), care sugerează o cale prin care reţelele complexe dinamice ar fi capabile să discrimineze între mai multe secvenţe de stimuli prin reprezentarea ordinii lor temporale. Astfel, potrivit autorului citat, o secvenţă nouă de stimuli este de tip perturbator. Ea va devia un sistem dinamic de pe traiectoria sa către un atractor, plasându-l în bazinul de atracţie al altuia. În schimb, atunci când secvenţa de stimuli este una învăţată, ea nu va devia sistemul de pe calea către un atractor. În acest mod, se va face o distincţie între cele două secvenţe, după efectul asupra dinamicii sistemului. Este întrevăzută, astfel, o cale de învăţare a regulilor (cum sunt şi cele care apar în procesele de raţionament) în cadrul unui model dinamic, ţinând cont de faptul că ele implică discriminarea unor secvenţe temporale de stimuli.

Ideea unei interpretări dinamice pentru noţiunea de schemă cognitivă ca soluţie pentru modelarea proceselor inferenţiale se regăseşte, într-o altă variantă, la Gärdenfors (1994), după cum s-a văzut şi într-o secţiune anterioară. În cele de faţă se va relua doar, pe scurt, esenţa sugestiei făcute de acest autor în această privinţă. Plecând de la asumpţia că schemele cognitive pot fi concepute ca vectori, el defineşte operaţii elementare care se efectuează cu astfel de scheme: conjuncţia a două sau mai multe scheme, disjuncţia lor şi găsirea unei scheme complementare. Mulţimea tuturor schemelor împreună cu aceste operaţii va forma o structură algebrică de tip latice sau, când vectorii schemelor au valori binare, una de tip boolean. O astfel de structură algebrică va reprezenta baza realizării inferenţelor care primesc o conceptualizare dinamică. Se presupune că o inferenţă s-ar produce atunci când un sistem dinamic cognitiv se va stabiliza în starea corespunzătoare acesteia (numită *stare rezonantă*) după ce va fi primit un anumit input.

Un model dinamic conexionist care a concurat cu cel elaborat de Oaksford şi Malloch (1994) este cel al lui Shastri şi Ajjanagadde (1993), numit de ei SHUTRI. Autorii citaţi şi-au propus să găsească o descriere dinamică, în principal, pentru raţionamentul reflexiv. Acesta este socotit de ei ca fiind deosebit de cel care presupune reflecţie (adică efortul unei deliberări, considerarea a mai multe alternative şi ponderarea lor), care cere mai mult timp şi, adesea, suporturi externe de reprezentare. Ei observă că agenţii umani sunt în stare să facă inferenţe fără efort, spontan, şi cu o remarcabilă eficienţă, bazându-se pe un domeniu vast de cunoştinţe, ca şi cum acestea ar fi un "răspuns reflex al aparatului lor cognitiv". Shastri şi Ajjanagadde (1993) consideră această uşurinţă ca

paradoxală dacă se ia în considerare dificultatea şi complexitatea sarcinii de a simula raţionamentul în domeniul inteligenţei artificiale. Explicaţia pe care ei au dat-o acestui paradox este aceea că, faţă de modelele conexioniste existente la acea dată, creierul uman este capabil să facă raţionamente eficiente pentru că se bazează pe o reprezentare şi o propagare rapidă a legăturilor dinamice. De aceea, ei au încercat încorporarea în cadrul modelului SHUTRI a acestei presupuse proprietăţi a creierului prin reprezentarea 1) legăturilor dinamice prin descărcări sincrone ale unor noduri adecvate; 2) a regulilor ca paternuri de interconexiune care direcţionează propagarea activităţii ritmice; 3) a relaţiilor pe termen lung ca subreţele de punere în corespondenţă a paternurilor temporale. Modelul are posibilitatea să reprezinte, la nivel conexionist, relaţii şi reguli care implică predicate şi variabile n-are şi execută cu o mare eficienţă, în opinia autorilor săi, o gamă largă de raţionamente. Odată ce se face o solicitare sistemului prin iniţializarea activităţii nodurilor adecvate, sistemul realizează o computaţie prin care răspunde automat şi într-un timp proporţional cu cea mai scurtă lungime a lanţului de raţionament care conduce la concluzie, datorită capacităţii sale de a menţine şi a propaga un număr mare de legături dinamice simultan.

Modelul prezentat face anumite predicţii specifice, de ordin psihologic, legate de natura raţionamentului reflexiv. Pe de o parte, el identifică ce constrângeri operează asupra formei regulilor care pot participa în astfel de raţionamente. Pe de altă parte, el relaţionează capacitatea memoriei de lucru care stă la baza raţionamentului reflexiv la parametri biologici cum ar fi frecvenţa posibilă cea mai redusă pentru descărcarea sincronă şi gradul de extindere a sincronizării. Pentru a implementa acest model, un sistem ar trebui să fie, în concepţia lui Shastri şi Ajjanagadde (1993), capabil să reprezinte structuri compuse într-un mod dinamic şi să le propage în mod sistematic pentru a instanţia alte structuri compuse. După cum arată autorii mai sus citaţi, sistemele conexioniste de la acea dată nu aveau astfel de performanţe, caracterizându-se printr-o capacitate reprezentaţională limitată la predicate unare care se aplică unor obiecte fixe. Acesta a fost şi unul din motivele care i-au determinat pe Fodor şi Pylyshyn (1988, în Shastri şi Ajjanagadde, 1993) să pună sub semnul întrebării posibilitatea ca, vreodată, modelele conexioniste să redea sistematicitatea şi compoziţionalitatea gândirii. Shastri şi Ajjanagadde (1993) cred însă că rezervele exprimate de Fodor şi Pylyshyn (1988, în Shastri şi Ajjanagadde, 1993) nu mai sunt valabile

pentru un model ca SHUTRI. În cadrul acestuia, prelucrarea informației se face după următoarele principii: a) raționamentul este propagare tranzientă, dar sistematică, a unui patern de activitate ritmic; b) fiecare entitate din memoria dinamică este o fază în această activitate ritmică; c) legăturile dinamice sunt reprezentate ca descărcare sincronă a nodurilor adecvate; d) relațiile pe termen lung sunt subrețele care acționează pentru a pune în corespondență paternurile temporale; e) regulile sunt paternuri de interconexiune care determină propagarea și transformarea paternurilor ritmice de activitate.

Prin urmare, după cum remarcă Shastri și Ajjanagadde (1993), raționamentul va fi rezultatul spontan și natural al comportamentului sistemului în care e încorporat un astfel de model. Acesta nu va aplica reguli de inferență sintactice, nu va avea un compilator separat sau vreun mecanism de inferență care manipulează și rescrie simboluri. Interconexiunile dintre reprezentările interne vor coda direct dependențele dintre entitățile externe asociate. Când nodurile din model sunt activate pentru a reflecta o stare dată de lucruri din mediu, modelul simulează spontan comportamentul lumii externe și, în virtutea acestui fapt, face predicții și inferențe. Totuși, după cum arată autorii lui, el nu este capabil să modeleze toate aspectele raționamentului reflexiv, concentrându-se doar pe cele care includ cunoștințe declarative și semantice. De asemenea, el nu realizează raționamente analogice reflexive sau raționamente reflexive de tipul celor din memoria episodică și din procesele imaginației. Aceste limite ale sale nu-i preocupă însă foarte mult pe Shastri și Ajjanagadde (1993), pentru că ei consideră că teoriile complexității exclud existența unui sistem de raționament cu scop general care derivă toate inferențele în mod eficient. Acest lucru ar însemna că trebuie să existe constrângeri asupra clasei de raționamente care sunt realizabile în manieră reflexivă. După cum observă cei doi autori citați mai sus, oamenii sunt în stare să execute cu eficiență maximă doar o clasă limitată de inferențe. De aceea, în concepția lor, un model al raționamentului nu trebuie să fie perfect, ci doar să aibă limite și calități plauzibile psihologic și să oglindească unele din calitățile și limitele raționamentului uman.

Mergând și ei pe linia sublinierii importanței sincronizării neuronilor pentru modelarea dinamică a proceselor de raționament, Raffone și Leeuwen (2002) propun o logică funcțională în care nu este posibilă o separare clară, ca în modelările de până acum, între reprezentări (care erau văzute ca stări în paradigma care consideră că informația e stocată la

nivelul atractorilor) şi procesare (care ar fi reprezentată de traiectoriile de evoluţie în spaţiul stare al unui sistem dinamic). Acestea sunt inseparabile, pentru că ambele ar fi aspecte ale computaţiei care se realizează într-un sistem dinamic. Sistemele în care informaţia este stocată exclusiv la nivelul atractorilor de tip punct fix sunt etichetate de autorii citaţi ca având o "dinamică inertă". Motivul este acela că evocarea informaţiei prin convergenţa unui sistem către un atractor fix este echivalată, de fapt, cu realizarea unor asociaţii de tip stimul-răspuns. Ele ar avea şi o flexibilitate limitată, pentru că funcţionarea lor depinde, în mod esenţial, de menţinerea echilibrului dintre conexiunile excitatorii şi cele inhibitorii. Potrivit lui Braitenberg şi Schüz (1998, în Raffone şi Leeuwen, 2002), acest lucru înseamnă o sarcină greu de realizat în contextul sistemului cerebral. În plus, o paradigmă de codare exclusiv la nivelul atractorilor ficşi ar fi legată, în mod necesar, de o codare a informaţiei doar prin paternuri de activare. De aceea, Raffone şi Leeuwen (2002) susţin că e nevoie, pentru a depăşi impasul în care se găseşte această paradigmă, de introducerea codării temporale a informaţiei, la nivelul sincronizării neuronilor, la fel ca în studiile de modelare conexionistă realizate de Shastri şi Ajjanagade (1993). Acestea au arătat, potrivit lui Raffone şi Leeuwen (2002), că o codare prin sincronie temporală, datorită tranzitivităţii implicite a acestei relaţii (adică dacă o unitate neuronală are o activitate neuronală care e sincronă cu activitatea altor două, atunci şi acestea din urmă vor fi sincrone), este utilă în reprezentarea unor relaţii de nivel superior şi pentru a modela procesele inferenţiale. Prin urmare, codarea temporală ar fi necesară pentru desfăşurarea proceselor cognitive superioare care implică "relaţii complexe între reprezentări active" (Raffone şi Leeuwen, 2002).

Spre deosebire însă de autorii modelelor care au folosit sincronizarea neuronală a unor oscilatori pentru a coda informaţia, cei doi autori anterior anterior citaţi fac un pas în plus. Ei propun o codare a informaţiei care să se bazeze pe sincronia graduală a unor semnale nestaţionare care ar avea ca sursă activitatea unor sisteme neuronale cu comportament haotic. Relaţiile de similaritate şi de proximitate, ca şi intensitatea asociaţiei dintre stimuli ar fi codate, conform acestor autori, prin gradul de sincronie în activitatea unor ansambluri neuronale. Ei se bazează, în propunerea lor, pe faptul că s-a demonstrat că este posibil ca sisteme dinamice neliniare care sunt cuplate să ajungă să se sincronizeze, chiar şi atunci când comportamentul lor este haotic (Fujisaka şi Yamada, 1983, în

Breakspear, 2004), ceea ce este socotit a fi un rezultat cu adevărat surprinzător. Astfel de sisteme sunt capabile să aibă comportamente caracterizate prin intermitență spațio-temporală, o proprietate pe care autorii o apreciază ca foarte importantă din punct de vedere funcțional. Argumentul lor este acela că, datorită acestei proprietăți, paternurile de activare ordonate vor alterna la intervale neregulate de timp, cu paternuri de activare neregulate, pentru a se reîntoarce, din nou, la paternurile ordonate inițiale sau la altele. Un astfel de comportament intermitent ar permite realizarea unor legături selective, ceea ce nu era posibil în situația codării prin sincronie temporală simplă. Sincronia graduală ar explica, potrivit autorilor citați, și interacțiunea reciprocă dintre similaritatea paternurilor care codează trăsături și a celor care codează relația dintre trăsături, care a fost demonstrată neurologic prin interacțiunea dintre rata descărcărilor și sincronia descărcărilor neuronale. În concluzie, cei doi autori susțin că este posibilă modelarea procesării informației în absența atractorilor ficși inerți, ea fiind realizabilă prin intermediul traiectoriilor nestaționare în evoluția stărilor. Mutarea procesării la nivelul traiectoriilor ar face ca, la nivel micro, să nu se poată distinge între stări și procese.

În sprijinul ipotezei sincroniei graduale, prezentate mai sus, poate fi invocat studiul realizat de Breakspear (2004), care propune o noțiune oarecum similară, de *sincronizare generalizată*. Aceasta apare prin bifurcație, la schimbarea parametrului de control al intensității cuplării, trecându-se de la o dinamică stabilă a sincronizării, cu puține dimensiuni, la o dinamică a sistemului compus în care ambele sisteme cuplate sunt independente în comportamentul lor în timp, cu multe dimensiuni, instabilă și combinând trăsături ale atractorilor neidentici ai celor două dinamici componente cuplate. La fel ca și sincronizarea graduală, și cea generalizată ar putea caracteriza modalitatea de sincronizare a sistemelor dinamice haotice. Practic, în funcție de intensitatea cuplării, se ajunge la intensități diferite ale sincronizării dinamicilor haotice. Chiar dacă este vorba de comportament haotic, și în acest caz, prin sincronizare, când cuplarea e asimetrică, este posibil să se prezică traiectoriile sistemelor dinamice de răspuns pe baza cunoașterii orbitelor sistemelor care conduc, cu care cele de răspuns sunt cuplate. Plecând de la aceste considerente de ordin teoretic, autorul sugerează posibilitatea ca reglarea intensității cuplării între sistemele neuronale neliniare să se facă prin intermediul unor zone cerebrale cu rol "catalizator". Aceste zone ar avea un rol în schimbarea conectivității funcționale între alte regiuni cerebrale, cum sunt,

de exemplu, cele temporale, studiile de neuroimagistică (McIntosch et al., 2003, în Breakspear, 2004) indicând posibilitatea ca ele să aibă o astfel de funcție. În acest mod, s-ar asigura o funcționare cognitivă flexibilă, prin setarea cuplărilor, astfel încât să se obțină o sincronizare neliniară slabă. De asemenea, schimbarea în sincronizarea neuronală sub influența inputului extern, interpretat ca zgomot cu caracteristici topografice, e întrevăzută de autorul citat anterior ca o modalitate de a coda stimulii exteriori. Se poate conchide că studiul lui Breakspear (2004) îl completează pe cel al lui Raffone și Leeuwen (2002) prin aceea că precizează două surse de control al intensității sincronizării traiectoriilor sistemelor dinamice neliniare (chiar și cu un comportament haotic) prin intermediul căruia e prevăzută a se realiza reprezentarea relațiilor importante pentru desfășurarea unui raționament. O primă sursă ar fi intensitatea cuplării fizice dintre sisteme, ca parametru de control al dinamicii compuse rezultate. O alta ar fi inputul extern, care joacă rolul unui perturbator cu caracteristici definite, fiind capabil să influențeze specific modul de sincronizare a traiectoriilor dinamice.

Kaneko (1998) apelează tot la ideea de dinamică oscilatorie pentru a modela dinamic raționamentul, la fel ca și Oaksford și Malloch (1994), dar din alte motive. El susține că la baza interpretării dinamice a proceselor gândirii logice ar trebui să se afle sistemele cu oscilatori neliniari, la fel ca și Raffone și Leeuwen (2002). Argumentul său este, în primul rând, acela că gruparea în paternuri, diversificarea, separarea unor astfel oscilatori sunt comportamente caracteristice acestora. În al doilea rând, ar fi posibil, astfel, să se amplifice micile diferențe dintre oscilatori (diferențiindu-i) prin instabilitatea orbitelor lor haotice, dar și să se realizeze unificări, grupări, prin tendința de păstrare a sincronizării lor. În plus, Kaneko (1998) presupune că la nivelul acestora sunt posibile procese de tipul itinerației haotice, prin care s-ar putea reprezenta modul în care, dintr-un comportament dinamic, emerg reguli de tipul celor logice. Ele ar apărea prin tranziția între reprezentări date de diverse stări ordonate emergente în cadrul unor astfel de sisteme itinerante haotic.

Importanța itinerației haotice pentru o interpretare dinamică a raționamentului a fost demonstrată de Tsuda (2001). Acesta este printre puținii susținători ai abordării dinamice care a sugerat căi concrete prin care TSDN ar fi utilizabilă pentru a înțelege procesele inferenței deductive, oferind o schiță de model în această direcție. El își sprijină propunerile și pe lucrările realizate de Basti și Perrone (1992, în Tsuda, 2001), de Grim (1993, în Tsuda 2001) și pe cele pe care le-a realizat în colaborare cu

Nicolis (1985, în Tsuda, 2001). Tsuda (2001) observă că e nevoie de dinamici complexe pentru a înțelege mai ales acea parte a proceselor inferențiale care se referă la computațiile analogice (care nu e abordabilă în teoriile clasice) și pentru a explica modul în care se pot genera prin comportamentul dinamic simboluri și reguli cum sunt cele de tip logic. Pentru a putea defini o astfel de dinamică complexă el consideră că este necesar să se pornească de la un spațiu continuu al valorilor de adevăr (ca cel care stă la baza logicii Tukasiewicz). În plus, în concepția sa, ar fi util să se apeleze și la conceptul propus de Kataoka și Kaneko (2000, în Tsuda, 2001) de metadinamică, care ar reprezenta un set de transformări dinamice ale unei funcții ale cărei argumente sunt variabile dinamice.

Valoarea de adevăr este interpretată, în modelul lui Tsduda (2001), ca o variabilă dinamică, adevărul și falsul fiind reprezentate ca vectori ortogonali, care definesc un spațiu bidimensional. În cadrul acestui spațiu este posibil să se proiecteze un vector neuronal a cărui valoare de adevăr va depinde de mărimea proiecției sale pe cele două coordonate: a adevărului și falsului. Tsuda (2001) afirmă că este un lucru natural să se încerce descrierea unui proces inferențial ca fiind unul dinamic, câtă vreme el implică etape succesive de transformări logice care pornesc de la prima permisă și se sfârșesc cu concluzia. El susține, la fel ca Sabelli (1995) și Grim (1993, în Vezerides și Kehagias, 2005), că, de exemplu, reprezentarea unei afirmații contradictorii s-ar putea face printr-un ciclu limită al unui sistem dinamic, iar o afirmație autoreferențială printr-un atractor de tip haotic. O altă sugestie a sa de modelare a unui proces inferențial ar fi aceea a derivării unei concluzii într-un raționament ipotetico-deductiv prin regula *modus ponens*, care ar presupune o dinamică care face posibilă separarea implicată de o astfel de regulă. În concepția sa, proceselor dinamice inferențiale deductive le-ar corespunde o clasă specială de sisteme dinamice haotice, care rămâne a fi determinată mai precis în viitor. Determinarea ei va depinde, însă, și de tipul de logică care se dorește a fi modelată. El pledează, astfel, pentru o completare a unei interpretări în termenii TSDN a logicii cu cercetări care să investigheze modul în care regulile logicii pot fi generate din comportamentul dinamic. Un început în acest sens s-a făcut, după cum s-a văzut în studiile prezentate anterior, prin ideea că prin intermediul noțiunii de sincronizare, ca și consecință posibilă a cuplării, s-ar putea reprezenta relațiile la nivel dinamic. O altă contribuție în acest sens este cea a lui

Kataoka şi Kaneko (1999, 2000), prin ideea de metadinamică, după cum se va vedea în cele ce urmează.

Noţiunea de metadinamică, menţionată mai sus, e integrată de Kataoka şi Kaneko (1999, 2000) într-un model novator, unul care oferă, în opinia mea, deschiderea cea mai mare pentru a realiza interpretări dinamice ale proceselor gândirii logice, având cele mai mari şanse să se impună în viitor ca model dinamic al raţionamentului. Cei doi autori citaţi conferă un sens mai larg noţiunii de sistem dinamic, ca fiind unul alcătuit nu exclusiv din variabile dinamice, ci şi din reţele de relaţii dinamice, depăşind astfel abordarea cantitativistă preferată de unii autori, cum ar fi van Gelder (2000). Astfel de sisteme dinamice sunt înţelese ca sisteme în care nu este vorba de dinamica unor variabile, ci de o dinamică de ordin superior, a funcţiilor, numită metadinamică. Pe baza metadinamicii, autorii anterior citaţi sugerează căile prin care ar fi posibil să aibă loc procesul de generare de simboluri şi reguli din sisteme dinamice continue. Generarea simbolurilor s-ar face prin aşa-numitul proces de "articulare", care presupune categorizarea obiectelor continue. De exemplu, dacă avem o variabilă continuă, prin aplicarea iterativă a unei funcţii definite pe domeniul său de variaţie, se va ajunge ca ea să fie separată în mai multe intervale distincte de variaţie. Ele vor fi definite de convergenţa acelei funcţii, prin aplicarea sa recursivă, către valori constante, diferite pentru fiecare interval rezultat. Cu alte cuvinte, o variabilă x va fi codată după valoarea spre care converge o funcţie definită pe x. Apoi, prin chiar dinamica reţelelor de relaţii dintre obiecte, un obiect va începe să acţioneze ca o simbolizare a altor obiecte (de exemplu, un obiect sonor, cum este un cuvânt, va simboliza un obiect vizual). Iterarea unor reguli de schimbare a relaţiilor dintre obiectele continue va conduce la formarea simbolurilor discrete în urma unui proces de stabilizare a unor relaţii, adică de "relaxare" a funcţiei. Aceasta va fi atrasă către un punct fix, ajungându-se la o corespondenţă relativ constantă între inputuri şi outputuri. Odată ce simbolurile sunt formate, ele vor fi nişte obiecte stabile, iar conexiunile dintre simboluri vor fi relaţii relativ stabile. O reţea inarticulată este reprezentată ca o funcţie, nu ca o variabilă.

În modelul prezentat mai sus, o funcţie corespunde unei reţele alcătuite din elemente direcţionate şi ea ar fi capabilă să reprezinte reţeaua de relaţii din lumea obiectelor exterioare. Procesul de formare a simbolurilor şi a regulilor plecând de la o astfel de reţea inarticulată ar fi posibil tocmai pentru că, iniţial, nu se face o distincţie dintre o regulă (operator) şi o variabilă (operandul). Pentru că o regulă nu e distinsă de

entitatea căreia i se aplică, se ajunge la posibilitatea ca ea să se aplice ei însăşi, să apară autoreferinţa şi, astfel, recursivitatea, iteraţia, specifică sistemelor dinamice. O astfel de dinamică nu va acţiona numai la nivelul simbolurilor, ci, simultan, asupra simbolurilor şi asupra obiectelor asignate acestor simboluri. În consecinţă, regulile generate într-un astfel de sistem dinamic nu vor fi complet sintactice, pentru că depind şi de obiectele simbolizate.

Metadinamica va opera şi la nivelul regulilor, ceea ce duce la emergenţa unor metareguli, de fapt, a unei ierarhii de reguli. Prin iterarea regulilor (adică prin folosirea limbajului) s-ar ajunge, potrivit autorilor citaţi, la o separare a rolurilor operatorilor şi operanzilor, după o primă fază în care funcţia care se aplica ei însăşi juca, simultan, rol de operator şi operand. Reţeaua inarticulată va evolua spontan de la funcţia exterioară dată de mediu către formarea simbolurilor şi regulilor. Modul de evoluţie în timp va fi dat însă, conform lui Kataoka şi Kaneko (1999, 2000), de complexitatea funcţiei lumii exterioare şi de intensitatea autoreferirii (gradul de neliniaritate). Dintr-o reţea inarticulată de relaţii, cu o dinamică instabilă, se va ajunge, în final, prin iteraţii, la structuri invariante, stabile, care vor guverna dinamica reţelei de relaţii sau de circulaţie a semnelor. Prin urmare, separarea unei părţi variante şi a uneia invariante nu va fi dată de la început, ca în multe modele hibride, ci va fi ea însăşi rezultatul unei dinamici. O altă deosebire în raport cu modelele hibride este aceea că cele două părţi vor avea, fiecare, o dinamică, care va fi influenţată de a celeilalte prin cuplare. Se poate deduce că raporturile dintre ele nu vor fi de tipul unui simplu transfer de informaţie de la o parte dinamică către una simbolică, în vederea codării, cum se întâmplă în multe modele hibride. Pentru că modelul propus de Kataoka şi Kaneko (1999, 2000) este un unul în care se presupune că se porneşte de la un sistem fără logică, el este apreciat ca reprezentând un pas înainte faţă de modelele care au o bază în logica fuzzy. În plus, Kataoka şi Kaneko (1999, 2000) susţin că logica fuzzy nu este capabilă să surprindă structurile semantice de tip dinamic care se formează în cadrul proceselor cognitive, nici fuziunea sintacticului cu semanticul şi, de aceea, un model dinamic este necesar.

Concluzionând, în modelul metadinamicii propus de cei doi autori menţionaţi mai sus există două contribuţii importante care îl diferenţiază în raport cu alte modele din literatura de specialitate. În primul rând, în cadrul lui se scoate în evidenţă primordialitatea pe care o are recursivitatea, iteraţia, în a defini ce este un proces dinamic, în raport cu alte

criterii care au mai fost folosite (cum ar fi existența unei evoluții în timp sau a unor variabile continue cantitative care să se influențeze reciproc). În al doilea rând, se recunoaște importanța distincției operator - operand, sau regulă – reprezentare, fără ca astfel să se nege natura fundamental dinamică a proceselor cognitive sau să se apeleze la soluții forțate, de compromis, cum se întâmplă în cadrul modelelor hibride.

În afara modelelor conexioniste dinamice propuse pentru a reprezenta relații și reguli de inferență, cum sunt cele prezentate mai sus, există numeroase modele de tip conexionist de tipul rețelelor cu atractori fiși (de exemplu, cele elaborate de Touretzky și Hinton, în 1985, Barnden și Srinivas, în 1992, Dolan și Smolensky, în 1989, Sun, în 1991, Ajjanagadde și Shastri, în 1989, Lange și Dyer, în 1989, citate în Sun, 1996) care au încercat să simuleze nu raționamentul bazat pe reguli, ci cel bazat pe cazuri (Vosniadou și Ortony, 1989, Helman, 1988, Smith și Osherson, 1989, în Sun, 1996). Acest tip de raționament este, după Sun (1996), unul care se bazează pe similaritate și analogie, cazurile fiind scenarii și episoade concrete care sunt folosite în rezolvarea unor probleme care implică situații asemănătoare. Sun (1996) observă însă că, în majoritatea rețelelor conexioniste care simulează raționamentul bazat pe cazuri și care se bazează pe principiul satisfacerii constrângerilor date, nu este tratată problema informațiilor incerte, nesigure, a valorilor de adevăr graduale. O excepție, în opinia lui Sun (1996), ar fi aceea a modelului elaborat de Derthick (1988, în Sun, 1996), în care raționamentul este realizat pe principiul satisfacerii constrângerilor prin minimizarea unei funcții de eroare. Sun (1996) remarcă însă că și acest model are câteva dezavantaje, pentru că se stabilizează foarte lent și nu conduce, întotdeauna, la cele mai bune rezultate. În plus, el este limitat, din principiu, pentru că nu este posibil ca toate relațiile logice dintre propoziții și toate modurile inferențiale să fie redate prin funcții de eroare (Sun, 1996). Sun (1996) afirmă chiar că, de fapt, majoritatea raționamentelor obișnuite nu sunt simulabile astfel. El își argumentează această poziție susținând că printr-o rețea conexionistă de tipul celei în discuție se poate realiza, în primul rând, asocierea. De aceea, nu ar exista în cadrul ei reguli și nici posibilități de legare a variabilelor. Dar, susține Sun (1996), pentru situații mai complicate, cum sunt cele din raționamentele uzuale, trebuie să se depășească nivelul asociației. El sprijină, astfel, poziția necesității regulilor în raționament, dacă nu pentru orice tip, cel puțin pentru unele din ele, la fel ca și Smith, Langston și Nisbett (1992, în Sun, 1996). Cu

argumente venite dintr-o direcție opusă, aceeași poziție de mijloc în privința rolului regulilor de inferență este exprimată și de Dreyfus (1972, Sun, 1996). El arată că trebuie să se recunoască faptul că regulile și logica *singure* nu sunt capabile să genereze raționamentul de bun simț, abilitatea de a înțelege esența unei probleme sau intuiția.

Mai recent, aceeași opinie o au și Jonker și Treur (2002), care susțin că raționamentul în contexte naturale nu se poate limita la aplicarea regulilor logicii inferențiale. Motivul ar fi acela că, în astfel de cazuri, este nevoie de traducerea unei reprezentări într-un alt tip de reprezentare sau este nevoie să se facă o presupunere suplimentară, folosindu-se un set dinamic de premise. Potrivit autorilor citați, deciziile făcute la momente specifice de timp în cursul procesului de raționament cu privire, de exemplu, la ce reprezentări să fie folosite sau ce presupuneri să fie făcute, sunt o parte inerentă a acestuia. El nu este explicabil, inteligibil, fără a se ține cont de acest tip de aspecte dinamice care îl caracterizează. Pentru a formaliza dinamica procesului de raționament la acest nivel de analiză, ei propun un model în care el să fie descris prin *urme ale raționamentului*, adică secvențe ordonate în timp de stări de raționament în cadrul unei perioade date. Mulțimea tuturor stărilor de raționament posibile definește spațiul (pe care l-am putea numi spațiul stare) în care are loc raționamentul. Urmele raționamentului sunt interpretate ca traiectorii în acest spațiu, iar fiecare pas de la o stare de raționament la cea următoare se bazează pe o tranziție permisă. O stare de raționament formalizează, în definiția lui Jonker și Treur (2002), o stare intermediară a procesului de raționament. Conținutul acestei stări este analizabil, de obicei, după aspecte sau dimensiuni variate (el poate conține, de exemplu, după o parte geometrică a sa și alta aritmetică). În consecință, ea este structurată ca o compunere de părți, indexate după o anumită mulțime care include diferite aspecte sau perspective asupra stării. Mulțimea stărilor de raționament este caracterizată ca un produs cartezian al tuturor mulțimilor de stări care se referă la un anumit aspect. Prin urmare, raționamentul ar avea loc într-un spațiu multidimensional. Fiecare aspect al unei stări este o componentă pentru aceasta. O tranziție de la o stare la alta este un pas în raționament. O relație privind tranzițiile de raționament poate fi folosită pentru a specifica tranzițiile permise. Tranzițiile diferă după setul de componente care sunt implicate. Tranzițiile cele mai complexe schimbă toate componentele într-un singur pas. Dar, după cum arată Jonker și Treur (2002), de obicei, ele implică doar una sau două dintre componente.

Tranzițiile sunt clasificate de către autorii citați, după setul de componente care e implicat. Se specifică, în plus, că e posibil ca o componentă să se schimbe prin achiziția de informație de la o sursă externă, în afara procesului de raționament.

Dinamica raționamentului rezultă din pași succesivi de raționament, adică tranziții succesive de la un raționament la altul. În continuare, pentru a specifica proprietățile dinamicii proceselor de raționament într-un astfel de spațiu al stărilor de raționament, se folosește limbajul urmelor temporale (Jonker și Treur, 1998, Herlea et al., 1999, în Jonker și Treur, 2002), prescurtat TTL (pe baza denumirii sale din engleză: "temporal trace language"). TTL este considerat de către cei doi autori ca fiind un limbaj din aceeași familie ca și calculul situațional (Reiter, 2001, în Jonker și Treur, 2002), calculul evenimentelor (Kowalski și Sergot, 1986, în Jonker și Treur, 2002) și calculul fluent (Hölldobler și Tielscher, 1990, în Jonker și Treur, 2002). Jonker și Treur (2002) arată că, prin intermediul său, este posibil să se exprime faptul că, într-o anumită urmă, la un moment dat, starea de raționament are o anumită proprietate și să se relaționeze astfel de proprietăți ale stărilor la momente de timp diferite. Metoda de analiză a dinamicii proceselor de raționament propusă de cei doi autori cuprinde următoarele etape: 1) Identificarea diferitelor dimensiuni sau componente ale stărilor de raționament; 2) Determinarea diferitelor tipuri de tranziții; 3) Identificarea proprietăților dinamice relevante pentru raționament (globale, pentru întreg procesul; pentru puncte critice în cadrul lui; pentru pașii de raționament, locale); 4) Determinarea relațiilor logice dintre diferite proprietăți dinamice în forma unui arbore; 5) Verificarea, pentru o anumită urmă de raționament, a proprietăților dinamice care se păstrează și care nu. Se stabilesc apoi relații logice între diferite proprietăți dinamice, indicând modul în care anumite proprietăți implică o alta. Jonker și Treur (2002) își socotesc metoda ca o diagnoză care analizează arborele relațiilor dintre proprietățile dinamice. Proprietățile dinamice pot fi de trei tipuri: unele sunt valabile pentru toate urmele de raționament, altele pot fi folosite pentru a distinge între diferite urme de raționament, altele pentru a distinge între agenții care raționează. De exemplu, după autorii citați, o componentă a stării de raționament poate conține o formulă sintactică și o altă componentă un model mintal sau un set de modele. Se constată că modelul prezentat de Jonker și Treur (2002), propunând ideile de spațiu al stărilor de raționament și de traiectorie în cadrul acestui spațiu, ar oferi premisele unei descrieri dinamice cu ajuto-

rul instrumentelor conceptuale ale TSDN. Dar autorii modelului s-au îndreptat, în final, într-o altă direcție, aceea a unui limbaj formal pur descriptiv, având aceleași limite ca și celelalte limbaje similare, menționate mai sus. În plus, un dezavantaj al acestui model este acela că, printr-o analiză a descrierilor obținute prin intermediul TTL, se relevă, cel mult, paternurile temporale ale schimbărilor care sunt accesibile conștiinței din cursul unui raționament.

Mai recent, împreună cu alți autori, Treur a subliniat, din nou, în Bosse, Jonker, și Treur (2005), importanța dinamicii pentru înțelegerea proceselor de raționament specifice, mai ales cu scop pragmatic, sau pentru cele care se desfășoară în contexte naturale. Argumentele pe care le invocă sunt cele legate de faptul că există o dinamică a fixării scopurilor în cursul raționamentului, una a prezumțiilor suplimentare care sunt implicate în cursul acestui proces sau acela al utilizării unui set dinamic de premise.

Analiza studiilor expuse mai sus, legate direct sau, predominant, indirect, de dinamica proceselor de raționament, sugerează faptul că aceasta ar fi analizabilă la mai multe niveluri, ajungându-se la modele de tip diferit. Cu alte cuvinte, există paliere de organizare diferite care conțin elemente care sunt interpretabile ca variabile sau legi dinamice, observându-se fluctuațiile lor în timp.

Un prim astfel de palier este acela al termenilor logici care apar în premisele unui raționament, care pot fi văzuți în calitatea lor de presupuse reprezentări dinamice și active, intrând în interacțiune cu alți termeni. Concluzia este generată, în acest caz, ca o structură emergentă, prin autoorganizarea unui sistem dinamic complex de reprezentări. Pe parcursul acestui proces, astfel de termeni vor avea o anumită dinamică a sensului lor, fiind posibil ca, în final, după derivarea concluziei, ei să-și schimbe definitiv sensul inițial. Astfel, inferența ar fi interpretată ca o schimbare a structurii atractoare a unui spațiu stare reprezentațional în virtutea dinamismului intern prin modificarea unor parametri de control (definiți de informația conținută în premise și de alți factori situaționali sau individuali). Într-o astfel de interpretare, reprezentările termenilor din cadrul premiselor și a relațiilor dintre ei se vor modifica nu prin concatenare și juxtapunere sau ordonare după reguli, ca în cazul modelelor simbolice (fie că sunt sintactice sau semantice), ci în mod spontan și natural, reflexiv, printr-o dinamică intrinsecă, fără măcar să fie nevoie, neapărat, de o actualizare a acestora în memoria de scurtă durată. O

interpretare alternativă a procesului derivării concluziei în cadrul acestui palier ar fi aceea de tranziție între stări atractoare existente într-un spațiu stare reprezentațional, fără să fie nevoie de un proces de bifurcație prin care să se schimbe structura sa atractoare. Este posibilă existența a două variante de analiză a dinamismului sensurilor termenilor logici: 1) în raport cu referenți externi sau 2) exclusiv din punctul de vedere al sensului lor logic. În cea de-a doua variantă, de exemplu, termenul mediu al unui silogism își poate schimba sensul de la o premisă la alta, devenind din predicat al unei judecăți, subiect sau invers.

Un al doilea palier ar fi cel în care se va urmări dinamica sensului judecăților raționamentului, relațiile ca atare dintre termeni fiind interpretate ca elemente dinamice de bază. Și în acest caz sunt posibile mai multe variante de analiză a dinamicii sensului lor: 1) în raport cu înțelesul lor concret, cu referire la relațiile din lumea externă; 2) în raport cu sensul lor logic, adică a semnificației lor ca relații între termeni logici (de exemplu de implicare, de determinare, de includere, de afirmare, de negare etc.); 3) în raport cu valoarea lor de adevăr. Relațiile dintre termenii logici ar putea fi "reprezentate" dinamic în mai multe moduri. De exemplu, este posibil să fie asociate unor atractori ciclici sau unor traiectorii dinamice (asigurând tranziția între stări). O altă cale ar fi prin cuplarea între sisteme dinamice, fiind posibile diferite grade de sincronizare între ele, în cazul în care se consideră situația în care acestea au un comportament oscilatoriu sau haotic. Derivarea unei concluzii s-ar datora unei bifurcații sau tranziției între stări atractoare în spațiul stare considerat.

Ultimul palier ar fi acela al urmăririi unei dinamici globale, în care se iau în considerare toate reprezentările prezente la un moment dat în memorie pentru a defini o singură stare de raționament într-un spațiu dinamic al raționamentului. Coordonatele acestuia ar fi date de niște parametri de ordine descriptivi pentru sistemul complex al raționamentului, care se referă, de exemplu, la aspecte generale, cum ar fi cele sugerate de Jonker și Treur (2002): tipul de reprezentare sau numărul și tipul premiselor luate în considerare.

Și în ceea ce privește natura legii dinamice în virtutea căreia se va putea deriva o concluzie există mai multe posibilități. Una ar fi ca această lege să fie una de tip general, nespecifică, caracteristică dinamicii oricărei reprezentări mintale. O altă posibilitate ar fi aceea a existenței unor legi dinamice specifice unor scheme de inferență dinamice. O a treia variantă ar fi aceea de a se considera o singură dinamică logică generală, una de

tip recursiv, care se aplică iterativ la fiecare judecată, prin care sensul actual al termenilor logici va fi determinat de sensul lor anterior.

Indiferent de nivelul elementelor alese pentru a primi interpretarea de variabile dinamice sau de cel la care e plasată legea dinamică care face posibilă derivarea unei concluzii, un model al raționamentului din prisma TSDN va fi considerat ca având sau nu o orientare sintactică, după cum își propune sau nu să dea o interpretare dinamică și importanță relațiilor și regulilor care apar în logica clasică.

Distincția între cele trei niveluri este una, totuși, artificială. Un argument ar fi acela că, de exemplu, reprezentarea conceptuală a unui termen logic într-un silogism e parte a structurii raționamentului deductiv, sensul ei fiind dat de această structură, conținând înțelesul întregului. La fel, însăși forma reprezentării unei judecăți conține în ea posibilitatea unui raționament deductiv. De exemplu, reprezentarea relației de opoziție nu s-ar putea face fără o reprezentare a unui raționament care s-ar baza pe ea. La rândul lui, raționamentul, prin concluzia sa, are aceeași formă ca și părțile sale, premisele, iar ca schemă dinamică ca și cea a conceptelor din termenii pe care îi conține. De aceea, pare plauzibilă ideea ca raționamentul să fie doar o desfășurare, o actualizare a ceea ce este potențial la nivelul reprezentărilor pe care le implică, dar și că, la rândul ei, reprezentarea oricărui concept este o actualizare a ceea ce este potențial la nivelul raționamentelor în care ar fi inclus.

Prin urmare, diferitele variante de modelare dinamică a raționamentului identificate în cele de față (unele care se regăsesc în literatura de specialitate, altele doar întrevăzute ca posibile) nu sunt în mod obligatoriu exclusive, pentru că este în spiritul TSDN ca la fiecare nivel de organizare să existe sau să se definească o dinamică. În plus, dinamicile de pe diverse paliere pot să fie cuplate între ele, influențându-se reciproc, creându-se o cauzalitate circulară, specifică sistemelor dinamice complexe, ca cea semnalată în paragraful anterior. Fenomene diferite care apar în cursul procesului de raționament ar putea fi înțelese mai bine prin urmărirea dinamicilor existente pe niveluri de organizare deosebite.

Se constată că majoritatea studiilor existente în literatura de specialitate nu sunt foarte detaliate, conținând doar sugestii sau principii care ar fi utile la construirea unor rețele neuronale artificiale sau la interpretarea unor rezultate experimentale (cum e cazul paradoxului mincinoșilor). Față de teoriile existente în psihologia cognitivă cu privire la raționament, un model dinamic al acestuia ar fi posibil să ofere explicații alternative

pentru performanţele diferite care se obţin ca timpi de răspuns şi ca număr şi tip erori. De exemplu, un timp de răspuns mai mare sau un număr mai mare de erori s-ar putea datora stabilităţii reduse a reprezentărilor dinamice ale informaţiei din premise sau ale celor rezultate prin integrarea informaţiei date în cursul raţionamentului. Avantajul unei interpretări dinamice de acest gen (în raport cu modelele competitoare) ar fi acela că ar reuşi să explice mai bine şi mai firesc extrema variabilitate a rezultatelor studiilor empirice privind raţionamentul (de la un experiment la altul, de la un individ la altul sau chiar în performanţa aceluiaşi individ), menţionată, printre alţii, de Bucciarelli şi Johnson-Laird (1999). Dacă derivarea unei concluzii se datorează unor structuri dinamice cu un grad variabil de stabilitate, care poate fi puternic afectată de diferite contexte, atunci este de aşteptat o astfel de variabilitate a rezultatelor.

O interpretare dinamică a raţionamentului nu intră, în mod necesar, într-un conflict ireconciliabil cu modelele existente, ci poate chiar contribui la completarea lor, fie că sunt de natură sintactică, apelând la explicaţia prin reguli, fie de natură semantică, apelând la scheme cognitive sau modele mintale.

Un prim exemplu al unei astfel de completări ar fi acela care ţine cont de observaţia făcută de Browne şi Sun (2001), potrivit căreia, pentru un raţionament deliberativ, cum este şi cel deductiv, este nevoie de o capacitate de a construi "reprezentări de moment" şi de a le modifica în funcţie de context. Este de presupus că o abordare dinamică ar fi capabilă să furnizeze sugestii utile în legătură cu natura, modul de formare şi utilitatea unor astfel de "reprezentări de moment", care par a fi mai aproape de o concepţie dinamică asupra noţiunii de reprezentare, decât de una de tip computaţionalist simbolic. Un al doilea exemplu ar fi acela al încercărilor de a explica emergenţa regulilor în cadrul unui sistem dinamic.

Un ultim exemplu se referă la posibila soluţionare a unor deficienţe ale teoriei modelelor mintale (Bucciarelli şi Johnson-Laird, 1999) prin apelul la o logică dinamică. De pildă, în cadrul teoriei mai sus menţionate, se prevede construirea de modele mintale pentru a se ajunge la derivarea unei concluzii. Dar aceasta ar presupune nişte reguli de construcţie şi o origine a acestor reguli, care nu sunt însă specificate de autorii teoriei, fiind o parte care este trecută cu vederea în studiile asupra modelelor mintale. De asemenea, nu se precizează nici cum şi de ce se produce integrarea modelelor obţinute din premise sau ce modele se selectează atunci când resursele de prelucrare a informaţiei sunt reduse.

Este de aşteptat ca dinamica neliniară să permită sugestii în acest sens. De exemplu, elaborarea modelelor mintale ar fi posibil să implice formarea unor structuri atractoare printr-un proces de autoorganizare. Apoi, presupunând că fiecărui model mintal posibil îi corespunde o structură reprezentaţională atractoare, selecţia unui model sau a altuia ar depinde de stabilitatea ficcăruia, de câştigarea competiţiei dintre ele în baza acesteia.

Este de evidenţiat un avantaj al unei abordări dinamice a raţionamentului, legat de cele discutate mai sus. În cadrul său, ar fi posibilă integrarea modelelor existente în psihologia cognitivă. Motivul ar fi acela că o astfel de abordare recunoaşte, implicit, că dinamica mintală ar presupune dinamici logice diferite pentru situaţii diferite, la niveluri de organizare diferite, corespunzătoare modelelor formulate până acum. Dar faţă de competitoarele sale, un model dinamic al raţionamentului ar fi capabil să facă şi predicţii suplimentare, care ar fi greu de explicat în cadrele clasice (cum e şi exemplul dinamicii care apare în cursul raţionamentelor paradoxale). Se impune însă observaţia că, în afara acestor predicţii, care furnizează un sprijin indirect pentru o dinamică a logicii, în stadiul actual al posibilităţilor de înregistrare a dinamicii sensurilor, este foarte greu să se ofere o susţinere directă, prin rezultate experimentale decisive, pentru un model dinamic al raţionamentului, mai ales pentru unul de tip cantitativ. Sursele dominante de date pentru validarea unui astfel de model este probabil să rămână, şi în continuare, cercetările din cadrul neurofiziologiei şi cele din domeniul inteligenţei artificiale.

O sinteză mai extinsă cu privire la argumentele teoretice şi empirice în baza cărora s-ar putea promova, în mod alternativ, cercetările dintr-o perspectivă dinamică asupra raţionamentului deductiv, în mod particular, se regăsesc în studiul lui Faiciuc (2008). Studiul în discuţie pleacă de la o comparare a modelelor cognitive de gen clasic asupra tipului de raţionament în cauză cu demersul, apreciat ca justificabil, al unei abordări dinamice. În urma unei astfel de analize, Faiciuc (2008) conchide că modelele de tip computaţionalist simbolic ale raţionamentului deductiv au ca principală susţinere mai mult o idee intuitivă, o prejudecată, rezultatele empirice existente nefiind conclusive şi nici în mod univoc interpretabile în lumina principiilor acestui tip de modele.

Faiciuc (2008) presupune că acestea s-au impus în psihologia cognitivă, devenind dominante, din trei motive. Primul este acela al absenţei, la început, din diverse motive, care, azi, nu mai sunt în

majoritate actuale, a unor modele competitoare cu un grad mai mare de elaborare. Al doilea, cel mai important, ar fi acela al aparentei evidențe a ideii pe care se întemeiază (dar care, nu are, în fond, nici o susținere empirică). Ea are la bază o simplă percepție a simțului comun, conform căreia raționamentul deductiv nu are nimic de a face, ca natură, cu abilitățile cognitive de nivel mai scăzut, cum sunt cele perceptuale, pe care le depășește în mod calitativ. De aceea, s-a preferat comparația acestuia cu alte procese cognitive de ordin superior, în speță cu cele lingvistice. Comparația în discuție a fost cea mai la îndemână, pentru că părea să ofere un acces evident și fără efort către procesele interne ale acestui tip de raționament. Prin limbaj se permitea exprimarea lor într-o formă perceptibilă. Prin urmare, formele raționamentului deductiv au fost căutate în paternurile lingvistice. Ulterior, aceste forme au fost exprimate într-o manieră simplificată, prin creare unor limbaje logice speciale. Ultimul pas a fost reproiectarea formelor logice, exprimate în formă simbolică, asupra proceselor psihice interne ale raționamentului deductiv care le-au generat, tocmai pentru a le descrie pe acestea. Demersul apare ca unul circular. Paradoxal, în baza lui, metafora lingvistică a fost consacrată în studiul raționamentului deductiv. Această metaforă este, în mod firesc, legată de computaționalismul simbolic, pentru că sistemele simbolice sunt limbaje formalizate.

Ultimul motiv în temeiul căruia modelele computaționalist simbolice s-au impus are la bază, de asemenea, o idee apreciată ca nefondată, privitoare la funcția cognitivă a raționamentului deductiv. Ea ar fi aceea că scopul lui este acela de ajunge la adevăruri universale pe căi formale, adică generale, independente de context. Dar datele empirice care s-au acumulat în timp (vezi pentru detalii Faiciuc, 2008) sugerează că o perspectivă mai ecologică ar fi de preferat în această privință. Ea ar însemna că raționamentele deductive au o funcție mai limitată, aceea de a ne asigura în legătură cu necesitatea unor adevăruri pragmatice, care au validitate doar într-un context particular, circumscris. Astfel, ar fi explicabilă extrem de marea variabilitatea a rezultatelor în executarea diferitelor sarcini deductive, care a pus în dificultate modelele computaționaliste existente, așa cum s-a menționat și în cele de mai sus. Pentru a îndeplini acest nou scop, procesele deductive nu ar avea nevoie de un mecanism deductiv general, ci, dimpotrivă, ele ar putea fi în mod mai firesc modelate prin instrumentele conceptuale ale TSDN.

Procesul de rezolvare a unei probleme implică un lanț de inferențe și, prin urmare, în afara dinamicilor de la nivelul raționamentelor este de anticipat apariția unei dinamici prin care ele să fie integrate astfel încât să se atingă un scop propus. La nivelul acestei dinamici, problema controlului său și a creativității se va pune mult mai acut decât în cazul celei de la nivelul raționamentelor. Rezolvarea creativă și cea intuitivă au fost considerate, până acum, a se preta cel mai bine pentru o modelare prin prisma conceptelor TSDN, date fiind evidența existenței unor fenomene de neliniaritate și autoorganizare, care par să le caracterizeze, și capacitatea mai redusă a unei abordări computaționalist simbolice de a furniza explicații satisfăcătoare în privința lor. Cu toate acestea, studiile teoretice și experimentale care să valorifice un astfel de potențial sunt extrem de puține. În cele ce urmează se vor prezenta contribuțiile câtorva autori care au făcut referiri mai directe la posibilitatea de a aplica dinamica neliniară pentru a descrie procesul de rezolvare a problemelor.

La nivel teoretic, Hooker (1996) oferă o formulare foarte succintă a unei teze dinamice în abordarea proceselor rezolvării de probleme. El susține că acestea sunt, în mod fundamental, procese de autoorganizare și ajustare, mai degrabă decât procese de computație. Boutot (1997) sesizează și el dinamismul intrinsec al gândirii în cadrul acestor procese, interpretând sensul ca un vector cu o anumită direcție, care indică orientarea unei tendințe în dinamica gândirii. Neliniaritatea care apare în fenomenul rezolvărilor intuitive este semnalată de Brown (1988, în Goertzel, 1993b), care este de părere că, pe măsură ce un gând, un act mintal, se formează, el ar trece printr-un proces de microgeneză care se manifestă ca o tranziție de fază și este trăită ca o apariție bruscă a unei idei. O tratare mai amplă a aplicațiilor TSDN pentru înțelegerea intuiției se găsește și în Faiciuc (1998). Treumann (1993) face o scurtă sugestie referitoare la natura gândirii creative, susținând că ea este efectul unei minți care are la bază o dinamică haotică. În concepția sa, la fel ca și a multor altor autori, lipsa haosului ar conduce la o gândire patologică, pentru că, fără el, sistemul nu poate ieși din cercurile vicioase în care intră.

Problematica controlului dinamicii gândirii în cursul uni proces de rezolvare, astfel încât, prin intermediul ei, să se ajungă la scopul propus, a fost dezbătută mai pe larg de Abraham (1991, 1996). El propune conceptul de "erodinamică" (în engleză: "erodynamics") ca o dinamică a motiva-

ţiei care ar explica direcţionalitatea gândirii, controlul său prin scopuri (Abraham, 1991). Această dinamică ar fi una cu funcţie autoreglatoare, care s-ar realiza prin intermediul unui feedback care provine de la o stare din spaţiul de control al unui sistem dinamic cognitiv, faţă de care sistemul încearcă să se ajusteze (Abraham, 1991). O cale simplă de a realiza acest feedback, propusă de Abraham (1991), este aceea a existenţei unui vector în fiecare punct al spaţiului de control care să indice direcţia în care va evolua sistemul şi în funcţie de care să se facă ajustarea, dacă direcţia nu este cea dorită. Într-un asemenea spaţiu s-ar forma atractori care ar reprezenta deprinderile de autoreglare, iar ca un posibil parametru de control pentru erodinamică, Abraham (1991) sugerează o funcţie de utilitate. Prin schimbarea acelei funcţii s-ar modifica, uneori în mod radical, deprinderile de autoreglare, prin formarea unor noi atractori. El interpretează libertatea de alegere de care dispune un rezolvitor ca posibilitatea de mişcare în spaţiul de control al unui sistem care se doreşte a fi stăpânit sau ca o relocare a acestuia într-o altă stare iniţială a spaţiului fază, pentru ca astfel să se ajungă la atractorul dorit (Abraham, 1996). Citându-i pe Kugler, Shaw, Vincente şi Kinsella-Shaw (1990, în Abraham, 1996), evidenţiază rolul factorilor externi în selectarea scopului, arătând că el este efectul sensibilităţii unui sistem care se autoorganizează la constrângeri nonlocale, dar care au efecte locale determinate.

Rumelhart et al. (1986, în Oaksford şi Malloch, 1994) nu consideră necesară o dinamică separată de aceea a gândirii pentru a explica direcţionarea ei prin scopuri. Ei interpretează scopurile ca inputuri pentru procesele dinamice ale gândirii, în sensul că ele sunt interpretabile ca fiind stări atractoare către care se cere ca traiectoria unui sistem dinamic al unui proces de gândire să conveargă în timp, iar subscopurile ar fi stările traversate până la starea atractoare. Prin scopuri, sistemul psihic ar realiza controlul propriei dinamici, ceea ce corespunde problemei controlului comportamentului unui sistem dinamic. Oaksford şi Malloch (1994) sugerează că un astfel de control prin scopuri este posibil dacă s-ar stabili o funcţie de evaluare globală care să fie definită de gradul de proximitate a stării prezente a sistemului dinamic al unui proces al gândirii faţă de starea scop. Dacă traiectoria sistemului nu se îndreaptă spre starea scop, atunci sistemul va fi comutat în altă stare (adică trecut în alte condiţii iniţiale), pentru care există mai mari şanse ca sistemul să aibă o traiectorie care să se îndrepte spre starea atractoare a scopului dorit.

În contextul discuției privitoare la dinamica atitudinilor, Eiser (1994) propune un alt tip de soluție pentru problema controlului dinamicii gândirii. El susține că acesta ar presupune existența unei reprezentări de ordin superior a structurii atractoare a spațiului fază în care evoluează gândurile. Adică, s-ar deduce că ar fi vorba de crearea unui spațiu dinamic reprezentațional de ordin secund, ale cărui coordonate ar fi date de posibilii parametri de ordine care ar descrie structurile atractoare ale dinamicii complexe de la nivel inferior. Cum acești parametri de ordine sunt, simultan, și parametri de control, pentru că guvernează dinamica de la palierul inferior, ar fi vorba de un control exercitat prin intermediul unei dinamici suplimentare, dintr-un spațiu de control, dar unul ale cărui coordonate vor fi parametri interni de control. Însă Eiser (1994) nu duce acest raționament până la capăt, limitându-se la a susține că acest control nu va schimba structura spațiului fază al dinamicii inițiale. El va permite doar găsirea căilor prin care s-ar putea ajunge în regiunea dorită din spațiul fază, tot astfel precum hărțile ne ajută să depășim un munte nu făcându-l mai puțin înalt, ci indicându-ne o trecătoare printr-o vale. Consider însă că nu se poate exclude și varianta prin care un control conștient schimbă structura atractoare a spațiului fază al gândirii. În acest caz, ar trebui să existe o reprezentare de nivel superior a diagramei fazelor sistemului dinamic în chestiune, adică un spațiu de control în care să fie incluși și parametrii de ordine despre care s-a vorbit mai sus. Practic, problema controlului conștient al unui proces psihic în cadrul unei astfel de soluții s-ar pune în termenii cuplării unui sistem dinamic de bază cu un sistem dinamic psihic de nivel superior, care acționează la altă scală spațio-temporală, care preexistă sau emerge din cel de bază.

În cadrul roboticii și al inteligenței artificiale, simularea comportamentelor de rezolvare a unor probleme este din ce în ce mai mult inspirată de o abordare dinamică de tipul cogniției încorporate și a proiectării bazate pe comportament. Un exemplu ilustrativ în acest sens este dat de Verschure (1992). El pleacă de la ideea că aspectele guvernării comportamentului prin cunoștințe sunt de înțeles în termenii sistemelor dinamice evolutive. Prin urmare, paternurile comportamentale organizate la nivel macroscopic vor fi, de fapt, rezultatul unor "decizii" locale. Verschure (1992) aplică principiul mai înainte menționat pentru a modela felul în care apar strategiile de rezolvare în cadrul unor situații problematice. În contextul dat, el interpretează strategia care apare la nivel comportamental ca o "proprietate emergentă a unei structuri de bază" și nu ca fiind

consecința descoperirii și aplicării vreunei reguli. Ceea ce la nivel macroscopic s-ar numi regulă, strategie rezolutivă sau reprezentare ar fi rezultatul unor mecanisme dinamice microscopice. Verschure (1992) observă că, deși un comportament pare intenționat, ca și cum ar fi în funcție de scopuri, convingeri sau planuri, astfel de constructe nu reflectă, de fapt, niște mecanisme cauzale ale comportamentului. El admite însă posibilitatea ca procesul de autoorganizare să fie condus de un sistem de valori care ar apărea prin selecție evolutivă și care este activat prin interacțiunea cu mediul. Din păcate, aceste principii teoretice pentru modelarea proceselor rezolutive au fost aplicate de către autorul menționat doar pentru o situație relativ simplă, aceea a construirii unor roboți care să rezolve problema ocolirii unor obstacole.

În marea lor majoritate, datele experimentale care susțin o modelare dinamică a proceselor de rezolvare a problemelor provin din studiile de psihologia dezvoltării. Ele au tratat problema microgenezei unor deprinderi cognitive de rezolvare a unor probleme specifice pe baza teoriei catastrofelor. Principiile teoretice pe care se întemeiază astfel de studii experimentale sunt ilustrate de modelul dinamic al genezei deprinderii de adunare, elaborat de van Geert (1994). În cadrul său, factorii care influențează gradul de dificultate a unei adunări joacă rolul de parametri de control. Fiecare astfel de parametru de control reprezintă o dimensiune a spațiului de control. Parametrii de control pot să țină de o problemă specifică (de exemplu, numărul termenilor de adunat, lungimea lor), de caracteristici ale rezolvitorului (motivația, atenția, oboseala etc.) sau de caracteristici ale mediului (feedback-ul primit, alte probleme care au fost recent rezolvate etc.). De aceea, o problemă administrată în mod real unui rezolvitor ar fi reprezentată, în concepția lui van Geert (1994), ca un punct în spațiul multidimensional de control. Acest punct va indica, de fapt, contextul specific, la un moment dat, al procesului de rezolvare a unei probleme în general. Pentru a vedea progresul rezolvitorului în soluționarea unui tip de probleme, autorul anterior citat propune aplicarea spațiului de control multidimensional pe o singură variabilă, cum ar fi nivelul de rezolvare la care a ajuns. Van Geert (1994) observă apoi că, după experiența sa personală, stările bistabile abundă în gândire. Ele se caracterizează prin perioade lungi de stabilitate într-o stare, în care un sistem dinamic este menținut prin feedback negativ, atenuându-se forțele perturbatoare. Însă, la un moment dat, depășindu-se un nivel prag, "barca" începe să se dezechilibreze și, printr-o trecere bruscă la o altă stare de

durată, feedback-ul devine pozitiv, accentuând forţele perturbatoare. Astfel, potrivit lui van Geert (1994), structura dezvoltării cognitive ar fi una de tip fractal, pentru că se va produce, întotdeauna, un salt brusc în dezvoltare, indiferent de scala temporală despre care este vorba.

El ilustrează această idee, în primul rând, prin salturile calitative neaşteptate, care este posibil să apară la o scară micro, cum ar fi aceea a rezolvării unei probleme. Dovezi în acest sens sunt aduse de Bidell şi Fischer (1993, în van Geert, 1994), ale căror date indică faptul că la copii apare, dintr-o dată, o schimbare de la o rezolvare ineficientă, caracterizată prin mutări greşite şi ezitări în problema turnurilor din Hanoi, la o acţiune foarte eficientă, în care secvenţa de mutări este corectă. Înainte ca să apară o înţelegere completă a problemei, copiii din studiul lui Bidell şi Fischer (1993, în van Geert, 1994) se opreau şi dădeau semne de neliniş-te, bătând cu degetele în masă, după ce primeau o informaţie pe care o respinseseră în stadiile anterioare. Cei doi autori citaţi au obţinut şi dovezi indirecte pentru caracteristica varianţei anormale care poate să apară înaintea unei catastrofe. În răspunsurile copiilor s-au înregistrat anomalii, sub forma oscilaţiilor în răspunsuri şi a discrepanţelor de raţionament, înainte ca să se realizeze saltul calitativ. Van Geert (1994) conchide că, pentru a înţelege problema turnurilor din Hanoi, se cere să apară o schimbare majoră, care depăşeşte nivelul micilor încercări şi descoperiri din stadiul pregătitor.

La o scală temporală ceva mai mare, de săptămâni, s-au prezentat date care indică un salt neprevăzut în dezvoltarea unor strategii rezolutive (Siegler şi Crowley, 1991, în van Geert, 1994). Datele cercetărilor indică o generalizarea bruscă a unei reguli sau strategii, dar care nu e simultană cu momentul descoperirii acesteia, ci apare la un interval de timp relativ lung, de până la câteva săptămâni după acest moment. Aşa cum arată autorii citaţi, este un decalaj la care, în mod normal, nu ne-am aştepta. Este greu de înţeles de ce, odată descoperită o nouă strategie mai eficientă, ea nu este aplicată imediat la problemele similare şi de ce generalizarea sa este explozivă. Această generalizare ar depinde de apariţia unei probleme-impas, după ce strategia corectă a fost descoperită. Se arată că acea problemă trebuie să fie suficient de dificilă pentru a demonstra că noua strategie descoperită nu este doar o nouă strategie, la fel de bună ca cele vechi, ci că este singura strategie bună. Astfel, problema-impas va permite ca strategia corectă să câştige definitiv competiţia cu restul strategiilor care coexistau cu ea şi după descoperirea sa. Interpretarea

dinamică pe care van Geert (1994) o dă acestui fenomen este aceea că descoperirea unei strategii aduce sistemul aproape de pragul critic, într-o stare de instabilitate. Dar, pentru depăşirea acestuia, este nevoie de problema-impas, care se va dovedi a fi o influenţă perturbatoare hotărâtoare pentru schimbarea comportamentului sistemului. Cu cât mai mult un sistem se îndepărtează de starea iniţială stabilă, schimbările devin din ce în ce mai rapide, pentru ca, la un moment dat, sistemul să treacă la un nou atractor. Frecvenţa perturbaţiilor care pot provoca tranziţia critică spre noul atractor va fi din ce în ce mai mare, pe măsură ce instabilitatea sistemului creşte. Apariţia problemei impas oferă impulsul necesar pentru a se depăşi pragul critic. Ceea ce are semnificaţie din punct de vedere dinamic, în concepţia lui van Geert (1994), este faptul că întâlnirea cu o astfel de problemă înainte ca sistemul cognitiv să ajungă în starea subcritică nu va avea nici un efect, ea nefiind, în acest caz, o adevărată problemă-impas, pentru că nu duce la o generalizare explozivă.

Pe o scară temporală mai mare, salturi bruşte apar în apariţia conservărilor. Aşa cum susţine van Geert (994), înainte de apariţia conservării, starea în care se găsesc copiii este foarte stabilă. Experienţa care vine în contradicţie cu convingerile lor nu este băgată în seamă, nu este văzută ca fiind în conflict cu ele. Apoi, pe măsură ce instabilitatea sistemului creşte, ei vor fi dispuşi să îşi schimbe răspunsul în funcţie de sugestia primită, dar, totuşi, ei vor fi şi la următoarele încercări atraşi, încă, de vechiul răspuns. Brainerd (1973, în van Geert, 1994) arată însă că la cei pentru care sistemul a devenit extrem de instabil, aproape de pragul critic, ei îndoindu-se de vechile convingeri, este suficient să li se spună că răspunsul lor a fost greşit pentru ca, pe viitor, să treacă la răspunsul corect, în mod brusc şi definitiv, stabilizându-se la nivelul înţelegerii conservării. Pentru ca o influenţă din exterior, de tip problemă-eveniment, să aibă un efect pe planul învăţării, un număr diferit de parametri de control corespunzători acestei probleme vor trebui să fie benefici învăţării, în funcţie de stabilitatea stadiului nonconservării. De exemplu, după cum susţine Brainerd (1973, în van Geert, 1994), când copilul este departe de punctul critic, nonconservarea fiind stabilă, problema-eveniment va trebui să fie benefică învăţării din toate punctele de vedere, privitor la toţi parametrii de control, cum ar fi nivelul ridicat de interes, nivel crescut al atenţiei, să fie simplă, să aibă distincţii pregnante. Dar şansa ca o problemă să întrunească un număr mare de astfel de calităţi este mai mică, ceea ce face ca, în stadiul iniţial, progresul să fie lent,

pentru că şi oportunităţile de învăţare sunt mai rare. Însă, pe măsură ce copilul se apropie de punctul critic, problema-eveniment va produce un efect de învăţare şi dacă parametrii săi de control benefici învăţării sunt mai puţini (chiar unul sau doi). Acest lucru este justificat, dat fiind că sistemul este instabil şi va fi mai uşor influenţat de perturbaţii mai mici. Pentru că sunt mai multe şanse să apară astfel de probleme eveniment, şi progresul se va accelera. În ceea ce priveşte posibilităţile de a modela trecerea de la nonconservare la conservare ca o catastrofă de tip şa, concluzia lui van Geert (1994) este că trei dintre caracteristicile principale ale acesteia sunt susţinute în mod clar de datele obţinute de Brainerd (1973, în van Geert, 1994). Pentru restul există date indirecte sau încă neconcludente, ceea ce ar însemna că un model de tip catastrofic pentru tranziţia spre conservare ar avea şanse mari să fie plauzibil.

Din cele prezentate se poate deduce că aceleaşi chestiuni discutate în legătură cu o abordare dinamică a proceselor de raţionament sunt valabile şi pentru cele de rezolvarea problemelor, mai ales aceea privind necesitatea folosirii noţiunii de regulă. Ceea ce intervine în plus, în mod mai pregnant, este problematica controlului proceselor de gândire, care, la nivelul aflat în discuţie, capătă o importanţă mult mai mare. În această privinţă, se pot distinge trei poziţii posibile. Există autori care consideră că direcţionalitatea gândirii, orientarea ei spre un scop, sunt explicabile exclusiv prin dinamica sistemelor cognitive într-un spaţiu stare reprezentaţional. Ele ar fi posibile prin autoorganizare, prin intervenţia unor stimuli din exterior ca parametri de control care sunt capabili să modifice dinamicile din acest spaţiu sau prin procesul itineranţei haotice. De altfel, prin ideea de dinamică intrinsecă a unui sistem cognitiv se exprimă, implicit, şi ideea că el nu mai trebuie pus în mişcare în mod necesar din exterior (prin stimulii din mediu sau prin sisteme afectiv-motivaţionale separate). Direcţionalitatea sa va fi dată de aceea a traiectoriilor sale. În acest context, ceea ce se consideră a fi, în mod obişnuit, ca intervenţie a unor sisteme afectiv-motivaţionale în sistemul cognitiv ar fi, de fapt, o modalitate de a se face referire, în mod separat, la aspectul dinamicii lui intrinseci. Există însă şi autori, după cum s-a văzut şi mai sus, care preconizează preexistenţa sau emergenţa unor dinamici separate, de ordin secund s-ar putea spune. Ele ar avea rolul de a controla dinamica sistemului cognitiv, astfel încât schimbările produse în acesta în virtutea dinamicii sale interne să se realizeze în sensul dorit. În acest caz, poate să fie vorba fie numai de o dinamică de control, care apare în spaţiul

parametrilor de control (externi sau/şi de ordine) ai dinamicilor cognitive, fie şi de o dinamică într-un spaţiu al valorilor, de o dinamică afectiv-motivaţională, care, prin cuplare, guvernează dinamicile cognitive direct sau prin intermediul celor de control. Necesitatea unei dinamici de ordin secund, care să acţioneze în mod complementar cu prima, a fost susţinută mai ales ca o cale de soluţionare a acelor situaţii în care un sistem dinamic cognitiv s-ar stabiliza într-o stare neadaptativă. Se observă însă că, în acest fel, problema menţionată este împinsă doar cu un nivel mai sus, fiind posibil ca, cel mult, să se scadă frecvenţa apariţiei unor astfel de situaţii. Există şi alte soluţii posibile ale problemei în cauză, care nu ar presupune introducerea unei noi dinamici. Una ar fi aceea care propune ideea revenirii la stări de repaus haotice (Skarda şi Freeman, 1987), care ar scoate sistemul dintr-o stabilizare nepotrivită. Alta ar fi ideea itineranţei haotice între atractori care au direcţii pe care destabilizarea lor este extrem de uşoară (Tsuda, 2001). Ele ar avea avantajul că pot contribui, suplimentar, la o înţelegere mai bună a comportamentului creativ. Totuşi, şi în acest caz, deşi o dinamică de control nu este strict necesară, ea ar putea fi posibilă, utilă, şi chiar plauzibilă, ţinând cont de datele introspecţiei.

Interpretarea dinamică a proceselor de evaluare şi decizie

Dintre toate procesele cognitive de nivel superior, aplicarea conceptelor TSDN a condus la modele dinamice detaliate, şi cu o mai largă recunoaştere, doar în cazul proceselor de evaluare şi decizie. Acest lucru este de înţeles, ţinând cont de faptul că, în cadrul acestor procese, în prim plan se află valorile, care prin chiar definiţia lor implică ideea de variabilă cantitativă, mai uşor interpretabilă ca variabilă dinamică. În plus, valorile sunt mai uşor măsurabile în mod repetat în timp, fără să intervină alte efecte de mascare a unei dinamici intrinseci (cum sunt cele de învăţare, de exemplu, în cazul altor variabile dinamice cognitive). În plus, dinamica lor este evidenţiabilă la diferite scale temporale (de minute, ore, zile etc.) cu eforturi relativ reduse. De asemenea, ele sunt şi mai accesibile conştiinţei, mai uşor de relatat, decât variabilele care intervin în alte procese cognitive. De aceea, a ajuns să se creadă că mai ales aspectele adaptative ale procesului decizional pot fi descrise în mod potrivit de o perspectivă dinamică (Jonker şi Treur, 2002). Aplicabilitatea dinamicii neliniare la procesele menţionate s-a susţinut şi prin apelul la datele

introspecției. Astfel, Lucas (2004a) argumentează necesitatea adoptării unei abordări dinamice a proceselor de decizie prin apelul la o intuiție comună. Ea se referă la situațiile în care simțim că, odată ce am făcut o anumită decizie, aceasta e greu de inversat, sau că există trăirea că suntem purtați înspre un anumit tip de comportament, împotriva propriei voințe. Prin urmare, s-ar putea spune că ne simțim, adesea, ca fiind obiectul unei dinamici care ni se pare incontrolabilă, la fel precum am fi purtați de curentul puternic al unui râu, fără ca să mai putem dirija, prin mișcările de înot, direcția în care ne îndreptăm.

Procesele de evaluare joacă un rol central în adoptarea atitudinilor și în sarcinile de predicție și, de aceea, studiile mai extinse asupra aplicabilității TSDN pentru înțelegerea dinamicii evaluării s-au orientat în aceste direcții.

Un prim exemplu al unui astfel de studiu este cel al lui Eiser (1994). Acest autor a conturat un model dinamic al atitudinilor care se distinge prin nivelul său ridicat de elaborare. Un asemenea nivel este rar întâlnit în literatura dedicată aplicării TSDN la procesele cognitive superioare, el putând servi ca exemplu paradigmatic pentru acest gen de studii. În concepția lui Eiser (1994), modelul propus de el ar fi valabil pentru orice alt comportament sau proces mintal care prezintă un patern recognoscibil de recurență. De aceea, în cele ce urmează, se va face o prezentare mai detaliată a lui, urmărind-o îndeaproape pe cea făcută de autorul său.

Una din presupunerile de la care pornește în demersul său Eiser (1994) este aceea că atitudinile nu sunt simple, unidimensionale, așa cum se crede în mod tradițional, ci sunt la fel de complexe ca orice gând. Sunt poate chiar mai complexe, dar această complexitate este o proprietate emergentă a unor procese dinamice foarte simple. La modul general, atitudinile sunt definite ca "obiceiuri ale gândirii care implică o asociere a valorii cu proprietăți reale sau imaginate ale unui obiect sau probleme". Sunt relevate, astfel, cele trei aspecte recunoscute ale unei atitudini: comportamental, afectiv și cognitiv. Eiser (1994) evidențiază faptul că problema de bază a explicării flexibilității modului de expresie comportamentală și de trăire subiectivă a unei atitudini nu este soluționabilă în cadrul unui model liniar rigid. Această abordare tradițională privea atitudinea ca un punct pe o linie dreaptă fixată, astfel încât ea rămâne neinfluențată de context. De asemenea, pe baza unui astfel de model nu era posibilă nici o predicție în legătură cu poziționarea cea mai probabilă

a unei atitudini. Motivul ar fi acela că toate pozițiile de pe o astfel de linie sunt la fel de probabile sau de stabile, tot astfel precum o bilă care se află pe o suprafață plată rămâne în poziția în care a fost pusă, indiferent care este aceasta. Modelul tradițional permite măsurarea schimbării, dar nu este capabil să indice care sunt schimbările cele mai probabile. Singura constrângere impusă schimbării în cadrul lui este aceea că aceasta trebuie să fie continuă, de-a lungul liniei pe care se poate schimba atitudinea, nefiind permise salturi bruște. În plus, el nu presupune nici o discuție cu privire la stabilitatea unei atitudini. Modelul tradițional nu face, de asemenea, nici o afirmație cu privire la forțele care acționează asupra unei atitudini. Ar putea fi prevăzute, cel mult, forțe externe, ca explicație exclusivă pentru modificările pe care ea le-ar putea suferi. Dar Eiser (1994) susține că acest lucru ar fi un "exercițiu ad-hoc", care nu ar rezolva neajunsurile esențiale ale modelului, pentru că lasă linia pe care se mișcă atitudinea la fel de imobilă și dreaptă ca înainte. El compară această situație cu cea a bilei, din exemplul amintit mai sus, dacă ea ar fi supusă din exterior unor forțe de împingere, tragere, ridicare sau lovire, în timp ce suprafața pe care ea se mișcă rămâne neschimbată. Consider că această soluție poate fi apreciată ca fiind similară cu soluția dată schimbării în sistemul cognitiv de către computaționalismul simbolic, care explică modificările reprezentărilor tot printr-o dinamică, dar una a unor forțe exterioare, de manipulare a unor reprezentări pasive pe o suprafață pasivă și rigidă. Spațiul, cadrul unde are loc schimbarea, mișcarea, e conceput a fi independent de forțele care o determină.

Modelul alternativ, cel dinamic, al atitudinii, care e propus de Eiser (1994), se bazează pe asumpția că atitudinea ar putea fi reprezentată ca un punct într-un spațiu fază multidimensional al unui sistem dinamic. În acest context, schimbarea unei atitudini ar fi privită ca o traiectorie a acestui sistem în acel spațiu fază. Un asemenea model ar fi capabil să dea răspuns multor întrebări pentru care cel tradițional, liniar, nu oferea o soluție. Astfel de întrebări ar fi, potrivit lui Eiser (1994), următoarele: cum se menține o atitudine, la fel ca orice stare mintală, în locul în care este, de ce o anumită atitudine se schimbă mai ușor într-o anumită direcție și nu în alta, cum experiența și repetiția influențează o atitudine, care sunt efectele atenției și ale primirii de noi informații asupra atitudinii etc. Răspunsul pe care îl dă modelul dinamic problemei schimbării și stabilității în cazul unei bile care se mișcă pe o suprafață este că aceasta este menținută într-un anumit loc pe o suprafață, după ce ea a fost pusă în

mişcare, nu de către nişte forţe externe, ci de conturul, de relieful suprafeţei pe care se mişcă, el determinând şi forma mişcării.

În opinia mea, este de presupus că, dacă s-ar aborda o înţelegere a formei mişcării bazată exclusiv pe forţe exterioare, ar trebui să se prevadă, în mod artificial, câte o forţă nouă care să acţioneze în fiecare punct pentru a direcţiona mişcarea. Dar nu s-ar putea justifica, apoi, modul în care aceste forţe se ordonează pentru a determina forma mişcării. În schimb, explicaţia pe baza formei reliefului arată că, dacă o astfel de bilă se află într-o adâncitură, îi va fi mai greu să ajungă într-o regiune mai ridicată. Cu alte cuvinte, va avea nevoie de mai multă energie, cantitatea necesară pentru a ieşi dintr-o "vale" depinzând de cât este aceasta de adâncă. Se face, astfel, o analogie cu o mişcare pe o suprafaţă reală, unde dinamica este dată de forţa gravitaţională constantă, care determină forma mişcării în funcţie de formele reliefului. În cazul schimbării unui sistem dinamic, acesta poate fi văzut ca fiind corespunzător bilei care, prin mişcare, îşi schimbă starea. Schimbarea va fi determinată de o lege dinamică care e constantă (la fel ca şi forţa gravitaţională) şi care determină structura de atractori a spaţiului fază, adică relieful său. De fapt, separarea sistemului de dinamica sa şi de spaţiul fază este artificială, pentru că dinamica este cea care determină forma spaţiului fază şi forma acestuia e cea care determină starea sistemului la un moment dat. Totuşi, această separare se face, ea indicând, de fapt, distincţia dintre o reprezentare asupra sistemului la un moment de timp punctual, prin starea sa, faţă de reprezentarea sa la un nivel supratemporal, ca şi configuraţie a stărilor în care s-ar putea afla, indiferent de un anumit moment de timp. Această configuraţie va fi dată de tranziţiile posibile dintre stările unui spaţiu fază. Aşa cum remarcă şi Eiser (1994), pentru a descrie procese psihologice se apelează, astfel, la un limbaj spaţial, cu scopul de a ilustra dinamica acestora. Conform modelului dinamic, diferitele atitudini ar corespunde unor adânciturі pe o linie sau suprafaţă, adică unor atractori care au o anumită putere (adică adâncime) şi zonă de influenţă (adică lăţimea bazinului de atracţie). Contururile trasate de atractori oferă potenţialităţi, oportunităţi şi, deopotrivă, constrângeri pentru apariţia anumitor "evenimente mintale", cum ar fi şi schimbarea unei atitudini. Acest lucru le face similare "suprafeţelor de energie", unde bazinele reprezintă stările în care energia potenţială este cea mai scăzută local sau absolut, iar ridicăturile (repulsorii) sunt locurile unde energia potenţială are maxime locale sau absolute.

Eiser(1994) consideră că e important să atragă atenția asupra faptului că influența pe care o exercită un atractor depinde de condițiile inițiale de la care pleacă un sistem mintal, adică de punctul de plecare, de contextul care predomină. Printr-o analogie, s-ar putea spune că marea în care va ajunge un obiect aruncat într-un râu va depinde de localizarea râului în care a fost aruncat. Prin urmare, concluzia lui Eiser (1994) este că stabilitatea și permanența (referindu-se, probabil, nu doar la atitudine, ci la orice stare mintală) depind de contextul în care se află un individ și de definiția selectivă pe care o dă acestui context. Autorul citat susține că atitudinile, ca și gânduri conștiente, sunt speciale prin faptul că sunt în schimbare constantă, ca un flux continuu. Ele presupun evaluări care implică o categorizare continuă, adică o recategorizare permanentă, după criterii multiple. Dar în cadrul acestei dinamici există și puncte de stabilitate, de repaus și de echilibru local, ceea ce explică, în concepția lui Eiser (1994), de ce teoriile tradiționale ale atitudinilor au, totuși, un anumit grad de valabilitate. El crede că ele nu au greșit prin faptul că au presupus că există stări constante, ci prin aceea că au neglijat multiplicitatea acestora și faptul că stabilitatea, constanța lor, depinde de context. Eiser (1994) sugerează că reprezentarea unui spațiu dinamic atitudinal trebuie să includă, în mod necesar, atractori multiplii. Relațiile dintre atitudini (atractori), ca și echilibrul sau constanța unei atitudini sunt întotdeauna, în concepția sa, relative la un cadru de referință, la un anumit spațiu dat de anumite dimensiuni de evaluare. Ceea ce într-un cadru ar părea ca fiind o regiune stabilă, într-un spațiu mai larg, cu noi dimensiuni, ar fi doar o mică adâncitură pe o pantă instabilă.

Eiser (1994) aduce mai multe argumente în favoarea interpretării atitudinilor ca atractori, mai ales ținând cont de avantajele pe care le-ar avea o asemenea interpretare.

Primul beneficiu ar fi acela al posibilității de a infera că formarea unei atitudini implică o prelucrare selectivă a informației, tranziția de la un gând la următorul fiind constrânsă de dinamica atractorului atitudinal specific unui anumit context și unui anumit individ.

Un al doilea avantaj ar fi acela că expresiile verbale ale atitudinilor, ca și acțiunile manifeste corespunzătoare acestora, ar fi interpretabile, la rândul lor, ca atractori în același spațiu atitudinal. Acest lucru ar însemna că ușurința cu care se va trece de la un atractor atitudinal la unul comportamental și invers va determina consistența dintre atitudine și comportament. Asociația dintre cele două nu este necesar să fie unidirecțională și

nici reciprocă. Este posibil ca ele să fie distincte, atunci când sunt atinse din puncte de plecare diferite, adică vor fi activate de seturi diferite de inputuri, sau să fie legate strâns una de alta, când aceleaşi condiţii iniţiale permit ca să fie ambele atinse. Va exista o consistenţă atitudine-comportament atunci când atractorii celor două vor fi legaţi, adică la fel ca atunci când două bazine sunt legate printr-o vale. Comportamentul va fi distinct de atitudine atunci când atractorii vor fi separaţi printr-o "creastă".

Al treilea avantaj menţionat de Eiser (1994) este că, pe această cale, atitudinile ar putea fi reevaluate, ţinând cont de comportamentele anterioare, după predicţiile teoriei disonanţei cognitive. Acest lucru este posibil în situaţia în care există o legătură reciprocă între atractorul atitudinii şi cel comportamental. Potrivit explicaţiei date de Eiser (1994), orice individ nu are doar o singură atitudine atractor în spaţiul atitudinal, ci un repertoriu de poziţii atitudinale potenţiale în legătură cu o anumită chestiune. În absenţa unei influenţe speciale, atitudinea exprimată de individ va fi cea corespunzătoare atractorului atitudinal care are stabilitatea (adâncimea) cea mai mare, el tinzând să graviteze în jurul bazinului acestuia. Dar în situaţia unei influenţe externe, când oamenii vor fi convinşi sau constrânşi să execute un comportament care e în dezacord cu atitudinea lor anterioară, acest lucru înseamnă o mutare a punctului de plecare, a condiţiilor iniţiale, în altă parte a spaţiului atitudinal. Din acest punct, sistemul va evolua către un alt atractor atitudinal, cel al gândurilor (atitudinilor) corespunzătoare comportamentului executat forţat. El va fi mai uşor de atins în condiţiile iniţiale date, reîntoarcerea la atractorul atitudinii preferate iniţial fiind dificilă.

Un al patrulea avantaj este acela că, realizând un portret al unui spaţiu faţă atitudinal, este posibil să se reprezinte deviaţiile de la echiprobabilitate, specificându-se, astfel, ce evenimente atitudinale sunt mai mult sau mai puţin probabile. În plus, formarea unei atitudini poate fi privită ca "sculptare" a spaţiului faţă iniţial, generând adâncituri, văi şi ridicături, prin interacţiunea cu mediul. Cu cât mai des este exprimată o atitudine, cu atât mai mult se va adânci atractorul său atitudinal şi vor exista şanse mai mari ca ea să fie exprimată mai des şi în viitor. Structura atractoare a spaţiului faţă va fi, în concepţia lui Eiser (1994), o structură care emerge prin prelucrarea în paralel a unor trăsături simple multiple ale mediului social. Rezistenţa la schimbare a unei atitudini ar fi privită ca depinzând de panta şi de înălţimea bazinului de atracţie a atractorului

atitudinal în care se află sistemul. Invers, stabilitatea unei poziții atitudinale va fi dată de apropierea sa de un atractor atitudinal. Puterea și întinderea unui asemenea atractor va fi determinată de consistența asociațiilor anterioare și de generalitatea contextului de stimulare (adică a condițiilor inițiale care conduc la acel atractor). Atitudinile mai stabile ar fi cele care sunt susținute de asociații mai puternice și mai distribuite. Alți atractori, însă, vor atrage sistemul doar pentru un număr foarte restrâns de condiții inițiale, reprezentând atitudini foarte specifice. Potrivit lui Eiser (1994), principiul întăririi atractorilor (adică a adâncirii și lățirii lor) pe măsură ce aceștia sunt abordați repetat, o versiune a principiului hebbian al covariației, se aplică și altor procese cognitive, nu doar celui atitudinal. Astfel, cu cât mai frecvent aspectele unei probleme sunt privite ca relaționate, de exemplu, printr-o argumentare repetată, cu atât mai ușoară va fi tranziția de la una la alta în viitor.

Ultimul avantaj al modelului dinamic al atitudinii menționat de Eiser (1994) este acela că, în acest mod, atitudinea nu va mai fi privită ca un punct, ci ca un proces. Acest lucru ar însemna că importantă nu este o poziție atitudinală adoptată la un moment dat (care se traduce printr-un anumit răspuns la o întrebare a unui chestionar), ci contează către ce alte poziții atitudinale sunt realizabile tranziții, plecând din acel punct, care sunt potențialitățile sale dinamice. Concluzia autorului citat este că "noi nu avem pur și simplu atitudini, ci suntem atrași către cele pe care le avem". Cu alte cuvinte, în adoptarea unei atitudini, ar precumpăni procesările automate. În acest context, și Eiser (1994) ridică problema controlului dinamicii gândirii, despre care s-a vorbit și în secțiunea anterioară. El se întreabă în ce măsură procesul atitudinal, gândirea în general, ca un flux printr-un spațiu fază a cărui formă depinde de "relieful" acelui spațiu, sunt procese complet deterministe sau dacă ele sunt dirijabile conștient într-o anumită măsură.

Modelul dinamic al atitudinii elaborat de Eiser (1994) poate fi completat cu studiul, la fel de complex, realizat de Latané și Nowack (1994). El aduce precizări importante în această privință și date empirice de susținere. Punctul de plecare al lui Latané și Nowack (1994) este întrucâtva diferit de cel al lui Eiser (1994). Ideea lor de bază este aceea că atitudinile trebuie să fie concepute ca dimensiuni, dar și ca și categorii. O poziție atitudinală ar fi similară cu definirea unei categorii, pentru că, dacă o atitudine implică un set de convingeri, evaluări și predispoziții comportamentale față de o categorie de obiecte, persoane sau fenomene,

ar exista, atunci, un set prototipic de astfel de elemente, prin care să se identifice o anumită poziție atitudinală, sau să existe o teorie care să lege elementele setului, dându-le o organizare. Perspectiva asupra atitudinilor ca entități complexe, care au o structură internă, conduce la ideea că ele ar permite investigarea prin intermediul conceptelor specifice TSDN, mai precis să fie interpretate ca sisteme dinamice, deşi autorii citați nu afirmă acest lucru explicit.

Latané şi Nowak (1994) elaborează un model potrivit căruia influența unei informații input asupra unei atitudini este în funcție de nivelul său de organizare. Când o atitudine e constituită mai mult dintr-o colecție neorganizată de elemente independente, o informație primită din exterior va schimba doar unul sau câteva din aceste elemente. Prin urmare, ea se va schimba gradual, liniar, semănând cu o atitudine dimensională. Când atitudinea are un nivel intermediar de organizare, o informație exterioară care va influența un element va influența, în mod indirect, şi un număr relativ mare de alte elemente, prin legăturile lor cu elementul influențat, ceea ce va face ca schimbarea atitudinii să aibă un anumit grad de neliniaritate (adică nu va exista o proporționalitatea între inputul informațional şi nivelul efectului lui asupra unei atitudini). Când se ajunge la un nivel superior de organizare, în care elementele constituente ale atitudinii se află în dependență reciprocă, atitudinea devine, astfel, categorială, existând o neliniaritate clară a răspunsului său la un input informațional exterior. Ipoteza autorilor anterior citați este aceea că acesta este posibil să conducă la tranziții de tip catastrofic, dat fiind că atitudinile categoriale ar avea o distribuție bimodală. Cu alte cuvinte, în cazurile unei organizări extreme a unei atitudini există doar două poziții atitudinale. Cu cât gradul de organizare este mai mare, cu atât şi tendința către bimodalitate va fi mai mare. Pentru că, de cele mai multe ori, prin creşterea gradului de implicare a unei persoane în adoptarea unei atitudini va creşte şi gradul său de organizare, este de aşteptat, potrivit autorilor citați, să crească şi tendința lor de a adopta o poziție extremă. Latané şi Nowak (1994) îl citează pe Zeeman ca fiind primul care a inițiat o modelare dinamică prin teoria catastrofelor a procesului atitudinal. Acesta, încă din 1977, a susținut că o opinie este controlată de doi factori de control: informația (care provine din interesul personal, ereditate, mediu) şi implicarea, voluntară sau involuntară, sau importanța problemei. Probabilitatea unei opinii este dată de o funcție de cei doi parametri de control, care poate fi descrisă ca o funcție potențial, adică una în care sunt importante un maxim şi un minim. Informația este interpretată ca factorul

normal al spațiului de control, ea determinând cât de departe înspre unul din poli va fi exprimată o atitudine. Implicarea este factorul de separare, fiind vorba de o catastrofă de tip pisc, în care cei doi poli atitudinali exprimă două structuri atractoare extreme, caracterizate prin doi atractori diferiți. Pe măsură ce crește factorul de implicare, relația dintre factorul normal și schimbarea poziției atitudinale devine din ce în ce mai mult neliniară, conturându-se, din ce în ce mai clar, cei doi poli atractori. Pentru niveluri ridicate ale factorului de separare, pe măsură ce factorul normal este variat progresiv, stabilitatea atractorului dominant va scădea și stabilitatea celuilalt va crește. Cel de-al doilea atractor devine, astfel, un competitor din ce în ce mai serios, până când, la depășirea unui prag critic, ajunge el să fie cel dominant.

Ceea ce e caracteristic catastrofei de tip pisc este apariția fenomenului de hysteresis, adică pragul critic pentru care se trece la atractorul alternativ atunci când parametrul normal este crescut progresiv este mai mare decât valoarea pragului critic de trecere la atractorul alternativ atunci când parametrul normal este scăzut progresiv. În cazul schimbării unei atitudini bipolare, acest lucru s-ar traduce prin următorul fenomen: cu cât gradul de implicare într-o atitudine a unui individ crește, cu atât e mai probabil să adere la alegerea poziției atitudinale pe care a adoptat-o inițial și cu atât e mai puțin probabil să fie neutru, chiar dacă informația primită nu favorizează vreuna din opțiuni. Doar de la un anumit punct critic, o informație consistent nefavorabilă unei poziții atitudinale va duce la schimbarea acesteia, printr-un proces de tip catastrofic. Astfel, se emite ipoteza că distribuția unei atitudini pentru un nivel redus de implicare trebuie să fie normală, iar pentru niveluri ridicate ale sale ar trebui să fie bipolară. Se trece, în acest mod, de la atitudini continue la atitudini discontinue. O consecință importantă a modelului este aceea că modificarea unei atitudini nu este explicabilă exclusiv prin primirea de informație nouă sau prin schimbarea unei dispoziții afective. Va fi importantă și variația gradului de implicare sau de importanță dată problemei în chestiune. După un exemplu dat de cei doi autori citați, cu cât mai importantă este o persoană în viața cuiva, cu atât mai mult va fi influențat acel individ de gesturi minore ale acelei persoane, în sensul că ele pot duce la modificări bruște și extreme de atitudine față de ea. În plus, când implicarea este mare, pentru a schimba o atitudine, nu este suficientă creșterea graduală a inputului informațional, ci e nevoie de una masivă.

Aceste predicții au fost verificate de Latané și Nowak (1994) prin analiza rezultatelor din două studii în care s-au obținut date despre

intensitatea atitudinii în raport cu o anumită problemă şi importanţa acordată de evaluatori acelei probleme. Cei doi autori mai sus menţionaţi au constatat că, pe măsură ce gradul de implicare, evaluată prin importanţa acordată problemei, creşte, începe să crească şi varianţa în atitudinile exprimate şi să existe tendinţa formării unei distribuţii bimodale, ceea ce ar corespunde polarizării atitudinilor.

Van der Maas, Kolstein şi van der Pligt (2003) au reanalizat datele obţinute de Latané şi Nowak (1994), cu metode statistice mai avansate, care permit testarea modelelor catastrofice, şi au confirmat, şi ei, apariţia fenomenului divergenţei, evidenţiind şi faptul că datele sunt mai bine explicate printr-un model catastrofic, decât printr-unul liniar sau logistic. În final, se constată că Latané şi Nowak (1994) au abordat problema dinamicii atitudinii mai mult din perspectiva influenţei pe care mediul extern o are asupra dinamicii unei atitudini şi mai puţin din punctul de vedere al structurii dinamicii spaţiului atitudinal, ca în cazul lui Eiser (1994). Din aceeaşi perspectivă, Mandell şi Selz (1994) sunt de părere, şi ei, că procesul formării unei opinii personale (cu alte cuvinte, a unei atitudini) este un proces neliniar, controlat de parametrul informaţiei relevante. Ei au plecat de la observaţia că opiniile noastre nu se schimbă încet şi gradual, pe măsură ce cresc cunoştinţele noastre asupra obiectului asupra căruia trebuie să ne formăm opinia. În schimb, ele suferă schimbări bruşte, salturi, urmate de perioade de constanţă, sau chiar se inversează, ca răspuns la primirea unei informaţii.

Abordarea dinamică a atitudinii este susţinută teoretic şi empiric şi prin studiul realizat de Vallacher şi Nowak (1994b) asupra modului în care traiectoriile evoluţiilor în timp ale unei judecăţi sociale pot să reflecte regulile de organizare ale sistemului de judecată care le-au generat, cu alte cuvinte dinamica acestuia. Vallacher şi Nowak (1994b) susţin că o polarizare a judecăţii (sau a unei atitudini) se produce doar când elementele cu valenţe pozitive din sistem cresc activarea altor elemente cu valenţe pozitive, ceea ce va fi valabil şi pentru elementele negative. Polarizarea ar însemna, prin urmare, un tip de organizare în care există tendinţa să se adauge doar cogniţii consistente cu poziţia exprimată şi să fie eliminate, ignorate, sau reinterpretate cele inconsistente. Schimbarea judecăţii va fi, în acest caz, monotonă. Este vorba de o organizare care tinde să păstreze un nivel maxim de coerenţă. Sunt însă posibile şi alte tipuri de organizări, când un element cu valenţă pozitivă sau mai multe activează elemente cu valenţă negativă. Acest lucru ar conduce la oscilaţii rapide sau ceva mai lente între o evaluarea pozitivă şi una negativă a

obiectului judecății. În concepția autorilor mai sus citați, este posibil să se imagineze reguli și traiectorii complexe ale evoluției în timp corespunzătoare unor astfel de organizări. Când există un grad scăzut de integrare a elementelor care pot contribui la evaluare, ele sunt evocate mai mult sau mai puțin aleatoriu și, în consecință, se vor produce oscilații neregulate, trăite ca o stare de confuzie și ambivalență. Se întâmplă însă și ca elementele judecății să formeze un sistem dinamic neliniar care evoluează înspre un atractor haotic. Atunci, de asemenea, apar schimbări de evaluare aparent neregulate, sistemul nefixându-se într-un punct stabil, ci explorând continuu o regiune limitată de stări evaluative. Ca și în cazul atractorilor haotici perceptuali (evidențiați de Skarda și Freeman, 1987), care erau considerați a fi necesari pentru discriminarea și învățarea perceptuală și senzorială, și în această situație, o astfel de dinamică a unei judecăti evaluative ar fi utilă inițial. Ea ar permite ca informația diversă care se oferă în legătură cu obiectul evaluării să fie absorbită și integrată mai bine, cu mai puține distorsionări, favorizând formarea unei reprezentări evaluative mai diferențiate.

Comparativ, abordarea dinamică a lui Vallacher și Nowak (1994b), față de celelalte două prezentate anterior, este mai apropiată de una în care, în prim plan, se află procesele de autoorganizare în cadrul unui sistem dinamic complex, alcătuit dintr-un număr mare de elemente. Ei au analizat modul în care tipul de organizare a legăturilor dintre elementele unui astfel de sistem poate influența modelul dinamicii sale. Schimbarea de perspectivă provine, în parte, din diferența preocupării care a stat în centrul fiecăruia din studiile citate. Latané și Nowak (1994) au fost mai mult preocupați de condițiile și dinamica schimbării atitudinii după ce ea a fost deja formată, pe când Vallacher și Nowak (1994b) mai mult de condițiile și dinamica formării unei atitudini.

Vallacher și Nowak (1994b) și-au susținut viziunea teoretică și cu date empirice, dintr-o serie de cercetări proprii, care, de această dată, s-au referit și la dinamica unei atitudini deja formate. Introducând ca metodă "paradigma mouse-ului", ei au studiat dinamica atitudinii față de o țintă, în mai multe situații. Una ar fi aceea când se dă o informație input descriptivă în legătură cu ea. Alta ar fi aceea când față de țintă există deja formată o atitudine: pozitivă, negativă sau ambivalentă. Paradigma mouse-ului implică urmărirea schimbărilor de atitudine prin înregistrarea mișcărilor mouse-ului pe un ecran în centrul căruia ținta este simbolizată printr-un cerc. Participanții la studiu aveau sarcina de a mișca mouse-ul

înspre țintă dacă ei apreciau că atitudinea s-a schimbat în mod favorabil și departe de țintă dacă ea se schimba defavorabil. Perioada de timp în care s-au observat schimbările de atitudine a fost de 2 minute, cu înregistrarea poziției mouse-ului la un interval de 6 secunde. Rezultatele obținute prin această metodă de Vallacher și Nowak (1994b) au indicat că, de exemplu, pentru situația în care atitudinea inițială este pozitivă, mișcările mouse-ului tind să se stabilizeze într-un punct aproape de țintă. Dar când ea a fost negativă, stabilizarea se făcea într-un punct departe de țintă. În ambele situații, s-a constatat o scădere a vitezei și a accelerației mișcărilor, pe măsura trecerii timpului și a apropierii de punctele de stabilizare. Aceste puncte ar putea fi interpretate ca atractori de tip punct fix. În schimb, atunci când atitudinea inițială era ambivalentă, au apărut oscilații, fără să existe o tendință de apropiere sau de îndepărtare, iar viteza și accelerația mișcărilor s-a păstrat, în mod relativ, constant ridicată.

Există câteva date experimentale care să susțină o dinamică a proceselor de evaluare și în cazul sarcinilor în care se cere realizarea unei predicții, a unei anticipări.

Un prim exemplu ar fi acela al unei cercetări realizat de van Rooij et al. (2000), în care s-a folosit un design similar cu cele amintite mai sus pentru categorizarea perceptuală și înțelegerea sensului propozițiilor ambigue. Interpretarea rezultatelor a urmat, de asemenea, același model teoretic. Sarcina participanților era să judece, în mod repetat, în ce măsura pot, cu ajutorul unui baston dat de experimentator, să atingă un obiect care se afla pus la o anumită distanță față de ei. Potrivit autorilor studiului, sarcina ar solicita participanților să realizeze un model mintal al situației și să formeze o reprezentare anticipată a acțiunii imaginate. Parametrul de control folosit a fost lungimea bastonului, care era variată fie aleatoriu de la o încercare la alta, fie era crescută progresiv sau scăzută progresiv. Distanța până la obiectul de atins s-a păstrat constantă de-a lungul tuturor încercărilor. Rezultatele obținute au fost următoarele. Pentru secvențele aleatorii, participanții au tins să dea aceeași apreciere pentru o încercare ca și cea dată în încercările precedente, ceea ce autorii consideră a fi un efect asimilativ. El ar fi explicabil prin faptul că, un sistem dinamic tinde să rămână în starea în care este. În schimb, atunci când lungimea bățului era variată progresiv, tranziția de la o judecată negativă la una pozitivă pentru secvențe mai lungi crescătoare a apărut pentru lungimi mai mici ale bățului decât tranziția de la judecata pozitivă la cea negativă pentru secvențe descrescătoare. Acest lucru corespunde unui fenomen de tip

contrast accentuat. Părerea lui van Rooijet al. (2000) este că rezultatele obținute de ei sunt mai bine înțelese în termenii unor bazine de atracție care evoluează dinamic și nu ca depinzând de structuri reprezentaționale stabile (n.a., prin stabil înțelegându-se, probabil, constant și nu sensul său dinamic). Datele lor ar putea fi puse în legătură cu rezultatele produse în cadrul unei alt tip de design experimental, elaborat de Gilden (2001) și prezentat mai pe larg într-o secțiune anterioară. Ele au evidențiat un proces de bază dinamic ca suport pentru evoluția în timp a producțiilor și evaluărilor realizate de participanți când aveau ca sarcină aprecierea mărimii unui stimul perceptual dat, prin reproducerea mărimii acestuia în mod repetat.

O contribuție teoretică și de ordin empiric în care este tratată în mod integrat problematica dinamicii cognitive la nivelul raționamentului, al proceselor de evaluare din cursul formării atitudinilor și al predicției și al deciziei a fost adusă de Read, Snow și Simon (2003). Ei se bazează, în considerațiile lor teoretice, pe rezultatele unei investigații în care participanții trebuiau să judece dacă un cuplu tânăr se va căsători sau nu sau dacă un acuzat este vinovat de o crimă sau nu. Acestea au indicat apariția unor puternice efecte de creștere a coerenței, în sensul că evaluarea dovezilor date se schimba în timp, astfel încât judecata finală să fie din ce în ce mai coerentă. Autorii anterior citați au comparat rezultatele mai sus menționate cu cele obținute în studiile asupra disonanței cognitive. Ei sunt de părere că ele nu sunt explicabile pe baza teoriei cu privire la o decizie de tip bayesian sau pe cea a teoriei integrării informației, fiind nevoie de un model nou, de tip dinamic. În concepția lui Read et al. (2003), teoria integrării informației are două presupuneri centrale: 1) fiecare dovadă evaluată nu-și schimbă sensul, fiind apreciată independent de altele, dacă nu există o legătură preexistentă între ele și 2) procesul de evaluare a informației este independent de acela al integrării ei. Cu alte cuvinte, procesul în cauză este văzut ca unidirecțional, pornind de la dovezi individuale către o judecată, de la evaluare spre decizie. În schimb, în cadrul modelului alternativ pe care autorii citați îl propun, concluzia emergentă poate influența interpretarea dovezilor, apărând un flux bidirecțional al informației între evaluarea dovezilor în favoarea unei judecăți și judecata însăși. Prin urmare, o judecată în curs de formare este posibil să influențeze evaluarea dovezilor. Read et al. (2003) susțin că modelul lor este compatibil cu modelele raționamentului bazate pe procesele de satisfacere a constrângerilor care au fost implementate în rețele conexioniste asociative cu atractori. Astfel de modele ale judecății

întemeiate pe aceleaşi principii ale satisfacerii constrângerilor au fost elaborate, după menţionările făcute de Read et al. (2003), printre alţii, şi de Holyoak şi Simon, în 1999, Holyoak şi Thagard, în 1989, McClelland şi Rumelhart, în 1986, Read şi Miller, în 1994 şi Thagard, în 1989. În reţelele conexioniste care le implementează, nodurile reprezintă concepte care pot avea legături pozitive sau negative între ele. Activarea se răspândeşte în reţea, astfel încât să se satisfacă constrângerile impuse de relaţiile din informaţia dată şi activarea conceptelor şi astfel încât să se maximizeze coerenţa sau armonia (Thagard, 1989, în Read et al, 2003) reţelei sau, alternativ, să se minimizeze energia sa (Hopfield, 1984, în Read et al., 2003).

În privinţa dinamicii proceselor decizionale, studiile realizate de Townsend şi Busemeyer (1995) sunt considerate ca fiind un etalon, ca şi grad de elaborare şi validare prin date, nu doar pentru modelele dinamice ale deciziei, ci şi pentru alte modele care ar urmări să aplice conceptele teoriei sistemelor dinamice în investigarea proceselor cognitive superioare. Cei doi autori au realizat un model dinamic al deciziei pe care l-au numit *teoria câmpului decizional* (în engleză: "Decision Field Theory" sau, prescurat, DFT). O descriere foarte succintă a DFT a fost dată de van Gelder (1998). Acesta arată că, în cadrul DFT, aspectele relevante ale situaţiei decizionale sunt reprezentate nu prin simboluri, ci prin intermediul unor variabile cantitative. Realizarea unei decizii ar fi consecinţa evoluţiei în timp interdependente a variabilelor cantitative, evoluţie care e guvernată de ecuaţii matematice şi nu de algoritmi, cum era în concepţia clasică. O decizie se va lua în momentul în care se va atinge un anumit prag stabilit. DFT ar permite explicarea proprietăţilor temporale ale unui proces decizional, ceea ce, după cum arată van Gelder şi Port (1995) şi Townsend şi Busemeyer (1995) nu este posibil în cadrul clasic static-determinist. Modelele de tip computaţionalist simbolic, bazate pe calculul utilităţii aşteptate (de exemplu, Kahneman şi Tversky, 1970, în Townsend şi Busemeyer, 1995) nu puteau explica procesul deliberării, fenomene cum ar fi durata necesară pentru a lua o decizie, dependenţa deciziei de timpul de deliberare, evoluţia în timp a preferinţei pentru o anumită alternativă, modul de rezolvare a conflictelor de tip decizional sau nu au fost capabile să facă predicţii ale unor date paradoxale, cum ar fi aceea a inconsistenţei între rezultatele obţinute în măsurarea preferinţelor cu diferite metode (Townsend şi Busemeyer, 1995). În plus, astfel de modele tradiţionale sunt, după cum observă Townsend şi

Busemeyer (1995), fie statice, fie se limitează la a preciza anumite secvențe de paşi. Dar, remarcă autorii înainte citați, aceste neajunsuri ale vechilor teorii nu înseamnă că ele trebuie eliminate, ci doar că trebuie încorporate în cadrul mai larg al unei teorii dinamice, pentru că ele aduc, totuşi, contribuții utile.

O teorie dinamică a deciziei, în viziunea lui Townsend şi Busemeyer (1995), trebuie să fie capabilă să specifice modul în care relația preferinței binare pentru orice pereche de acțiuni (care poate lua valoarea de adevărat sau fals) sau funcția de probabilitate (care ia o valoare în intervalul [0,1] pentru orice perechi de acțiuni) se schimbă în funcție de timpul deliberării. Teoria dinamică elaborată de ei este una de tip stocastic, predicțiile ei centrale referindu-se la: 1) relația dintre probabilitatea alegerii unei opțiuni şi timpul disponibil pentru deliberare; 2) timpul mediu necesar pentru a lua o decizie; c) dinamica decizională în conflictele de tip abordare-evitare. Descris pe scurt, din punct de vedere dinamic, procesul decizional începe în cadrul unui sistem dinamic cu o anumită stare de preferințe cu privire la diferitele opțiuni. Ea evoluează în timp după ecuații dinamice care definesc relațiile dintre variabilele sistemului, cum ar fi valoarea motivațională a unei consecințe şi valoarea anticipată a unei opțiuni (Townsend şi Busemeyer, 1995). Townsend şi Busemeyer (1995) propun ca variabile dinamice pentru sistemul dinamic al procesului deliberării valențele opțiunilor luate în considerare. Mai precis, aceste valențe sunt date de intensitatea convingerii pe care o are un decident privitor la existența unei legături dintre fiecare curs de acțiune şi o consecință a sa. Puterea convingerii se reprezintă în modelul conexionist elaborat pe baza DFT ca o pondere a unei conexiuni. După cum se indică de către Townsend şi Busemeyer (1995), ponderile conexiunilor sunt cele care suferă fluctuații în cursul procesului decizional, în funcție de schimbarea convingerilor decidentului cu privire la existența unei legături dintre o opțiune şi consecințele ei. După exemplul oferit de autorii citați, la un moment dat, în atenția unui decident se pot afla consecințele pozitive (câştigurile) unei acțiuni, pentru ca apoi acesta să acorde o importanța mai mare consecințelor negative (pierderilor). Ponderile conexiunilor acțiuni-consecințe vor modifica impactul valorilor de input ale consecințelor reale. Outputul acestui sistem dinamic va fi un vector, numit de Townsend şi Busemeyer (1995) "vector valență", el reprezentând valorile anticipate momentan ale consecințelor produse de un anumit curs al acțiunii.

Conform celor doi autori ai modelului prezentat, valența este transformată în acțiune prin trecerea prin alte două sisteme dinamice: un sistem decizional și unul motor. Sistemul decizional, care primește ca input valența, produce o stare preferință ca output, care e reprezentată printr-un vector definit pe opțiunile avute în vedere. Fiecare coordonată a acestui vector se va obține prin integrarea temporală a valențelor generate de un anumit curs de acțiune (opțiune), ceea ce înseamnă o estimare curentă a intensității preferinței pentru acel curs. Starea de preferință furnizează, în cele din urmă, inputul ultimului sistem dinamic, acela motor, care produce răspunsul, ca exprimare a unei opțiuni. Sistemul motor integrează preferințele în timp pentru fiecare curs de acțiune, pentru a produce, în final, un comportament manifest. Outputul sistemului va fi tot un vector, care reprezintă starea sistemului motor corespunzătoare unui anumit comportament.

Townsend și Busemeyer (1995) formulează o analogie cu sistemele fizice, ei considerând că valența ar corespunde forței din asemenea sisteme, starea preferinței ar fi asociată vitezei, iar acțiunea manifestă ar fi în legătură cu poziția fizică. Schimbarea în timp a vitezei (starea preferinței) este dată de o ecuație diferență care determină starea de preferință viitoare în funcție de poziția (acțiunea) anterioară și starea de preferință curentă. În schimb, o anumită preferință din sistemul decizional se va schimba după o ecuație diferență liniară sau neliniară în funcție de starea de preferință anterioară și de un parametru de control dat de rata de învățare, de exemplu (Townsend și Busemeyer, 1995). De asemenea, dinamica va depinde, după sugestia lui Townsend și Busemeyer (1995), de modul în care valențele acțiunilor vor fi comparate pentru a forma preferințe. Sunt posibile două situații. Una ar fi aceea în care preferințele pentru diferitele acțiuni se vor stabili în mod independent, opțiunile concurând în mod liber. Cealaltă ar fi cea în care stabilirea preferinței pentru o acțiune se va face prin compararea cu o medie a valenței celorlalte acțiuni. Cu alte cuvinte, pentru ca preferința pentru o acțiune să crească, este necesar să scadă preferința pentru celelalte rămase.

Privitor la sistemul valențelor, Townsend și Busemeyer (1995) cred că el ar avea o legătură cu forțele motivaționale, dar nu numai cu acestea. O valență este determinată, în concepția lor, de două categorii de factori. Primul ar fi acela al convingerii decidentului cu privire la existența unei conexiuni dintre un curs de acțiune și consecințele sale, care oferă niște ponderi care stabilesc intensitatea acestei conexiuni.

Ponderile ar fi, la rândul lor, rezultatul produsului a şase factori: atenţia, învăţarea, relevanţa, probabilitatea, distanţa temporală şi distanţa spaţială. Atenţia ar însemna că o conexiune acţiune-consecinţă a fost accesată în memoria de lungă durată şi adusă în memoria de scurtă durată. Învăţarea s-ar referi la schimbarea ponderii pe baza experienţei unei legături acţiune-consecinţă. Când probabilitatea conexiunii act-consecinţă determină ponderea acestei conexiuni, valenţa actului este considerată a fi echivalentă cu utilitatea subiectivă aşteptată la acel moment pentru actul respectiv, făcându-se astfel legătura cu teoriile tradiţionale. Când ponderile sunt date de distanţarea în timp a consecinţelor, valenţa actului la un moment dat va fi determinată conform modelului de "eliminare temporală" (în engleză: "temporal discounting"), elaborat de Stevenson (1986, în Townsend şi Busemeyer, 1995). Dacă ponderile reprezintă un atribut sau o dimensiune, valenţa unui act la un moment dat va fi dată de o sumă ponderată a valorilor multiplelor atribute (Townsend şi Busemeyer, 1995). Influenţa pe care distanţa fizică o are în determinarea ponderii unei conexiuni acţiune-consecinţă este în acord cu ceea ce se numeşte "ipoteza gradientului scopului" (Hull, 1938, Lewin, 1935, Miller, 1944, în Townsend şi Busemeyer, 1995), conform căreia percepţia recompensei sau pedepsei se intensifică pe măsura apropierii de scop. De asemenea, natura consecinţei (pozitivă sau negativă) va determina gradienţi diferiţi ai ponderilor, astfel încât ponderile evitării vor avea o schimbare mai accelerată decât cei ai abordării (Lewin, 1935, în Townsend şi Busemeyer, 1995). Al doilea factor, al valorii motivaţionale, înseamnă, în descrierea lui Townsend şi Busemeyer (1995), reacţia afectivă globală. Ea variază pe un continuum, permiţând compararea consecinţelor şi interacţiunea lor, la fel precum schimburile sunt promovate de continuumul monetar. Valoarea motivaţională este şi ea un produs de doi factori: cerinţele şi impulsurile interne şi estimarea potenţialului ca o consecinţă să conducă la satisfacerea cerinţelor interne. Valenţele motivaţionale au, după cum arată autorii citaţi, o natura dinamică, pentru că cerinţele interne se modifică în timp, iar opţiunile alese conduc chiar ele la modificarea cerinţelor interne, printr-un proces recursiv, de tip dinamic. Townsend şi Busemeyer (1995) prevăd în model şi existenţa unui prag inhibitor, care stabileşte valoarea limită care trebuie depăşită pentru ca o schimbare de preferinţă să ducă şi la o schimbare în comportamentul manifest. Ei sugerează că acest prag variază şi el în cursul procesului de deliberare, la început fiind foarte ridicat, pentru ca, la sfârşit, să ajungă aproape de zero.

Pe baza acestei prezentări mai extinse a DFT, este de remarcat faptul că ea reuşeşte să încorporeze o mare parte din teoriile anterioare referitoare la procesul decizional şi, în plus, să facă predicţii noi, care au fost confirmate de studii empirice. Vechile teorii capătă în DFT statutul de subteorii, referindu-se la aspecte specifice ale procesului decizional. De aceea, datorită gradului său de cuprindere, DFT este apreciată ca oferind un cadru teoretic general în care, şi pe viitor, sunt şanse să îşi găsească locul alte subteorii, care să precizeze anumite aspecte punctuale.

O astfel de subteorie ar putea fi şi cea a lui Haken (1995a, 2003a), care propune o abordare dinamică a procesului deciziei pentru situaţiile frecvente în care informaţia de care dispune un decident este incompletă sau conflictuală. Pentru a completa informaţia cunoscută faţă de informaţia cerută pentru a lua o decizie, Haken (1995a) crede că un decident se bazează pe similaritatea unei situaţii prezente cu o situaţie anterioară, ceea ce ar permite o analogie cu situaţia recunoaşterii unui patern. Prin urmare, ar fi aplicabil acelaşi model teoretic de tip dinamic pe care l-a propus pentru procesul de recunoaştere a figurilor ambigue. Un asemenea model ar prezice şi el decizii care sunt dependente de timp, fiind posibil să apară comportamente oscilatorii sau aleatorii. În cadrul său, datele cunoscute joacă rolul paternurilor. Un avantaj al modelului propus de Haken (1995a) ar fi că el admite, potrivit autorului, ca aceste date să fie nu doar cantitative, ci şi sub formă de reguli sau legi, de algoritmi sau diagrame, la fel precum paternurile pot fi aranjamente de obiecte. Astfel de paternuri sunt codate, adesea, ca vectori care sunt constanţi sau dependenţi de timp. Datele incomplete ale unei decizii ar corespunde unui patern incomplet. Prin introducerea unei măsuri a similarităţii se stabileşte o dinamică a procesului decizional în care, după sugestia lui Haken (1995a), sunt introduşi, ca parametri de control, factori cum ar fi atenţia sau biasarea. Din punctul de vedere al modelelor temporale ale unei dinamici decizionale, autorul citat anticipează că sunt posibile soluţii unice (atractori punct fix) sau atractori de tip ciclu limită în care persoana oscilează între mai multe opţiuni. De asemenea, atunci când se produc modificări ale parametrilor de control prin schimbarea contextului deciziei, este de aşteptat să apară fenomenul hysteresis-ului. Acest lucru ar însemna că, de exemplu, decidentul continuă să aleagă ce a mai ales, chiar dacă se circumstanţele sunt altele şi un alt răspuns ar fi apărut în mod normal, dacă nu ar fi existat deciziile precedente. Fenomenul saturaţiei atenţiei ia, în cadrul procesului decizional dinamic, forma anulării atenţiei ca parametru de control pentru o alegere care a

condus la eşec, permiţând selectarea altei alegeri pe baza atenţiei care se reorientează spre o nouă variantă (Haken, 1995a). În viziunea lui Haken (1995a), un proces decizional dinamic nu are ramificaţii, pentru că toate opţiunile vor fi tratate în paralel.

Modelul dinamic al proceselor decizionale poate fi completat şi cu seria de studii realizate de Metzger (1997). Dacă Haken (1995a) a tratat problema dinamicii deciziei într-un mediu cu informaţie incompletă, Metzger (1997) s-a ocupat de această dinamică şi de efectele sale în situaţia în care decizia se realizează în contextul unui mediu care are el însuşi o dinamică, mai precis una de tip neliniar. Autoarea citată a plecat de la ideea că modul de funcţionare a sistemului cognitiv este adaptat la trăsăturile dinamice ale proceselor naturale, în special adaptat la posibilităţile extrem de limitate de a anticipa comportamentul unui sistem neliniar. De aceea, Metzger (1997) sugerează noi interpretări pentru câteva biasări ale judecăţilor în procesele decizionale. Prima dintre ele s-ar referi la fenomenul ancorării, când cantităţi numerice irelevante sau locaţiile spaţiale influenţează, în mod semnificativ, estimările date de indivizi pentru o cantitate numerică care trebuie apreciată. Fenomenul a fost demonstrat, iniţial, în situaţii statice, în care unor participanţi neexperimentaţi li se cerea să estimeze o singură cantitate. În asemenea situaţii, se apreciază că ancorarea nu are nici o justificare raţională. Dar Metzger (1997) a evidenţiat acest fenomen şi în situaţii dinamice, când se dădea ca sarcină predicţia (estimarea) valorilor viitoare pentru o serie temporală, pe baza observaţiilor anterioare asupra evoluţiei unui sistem dinamic care se afla într-un atractor de tip haotic (adică, ţinând cont de valorile date anterior ale seriei). Rezultatele studiului său au arătat că ancorarea este o metodă pe care o folosesc participanţii pentru a realiza un "analog comportamental" al procesului dinamic observat. O astfel de euristică apare, conform autoarei citate, încă de la vârsta de trei ani, ceea ce indică faptul că este o cale de adaptare fundamentală la dinamismul fenomenelor naturale. Şi biasările date de euristicile insensibilităţii la probabilităţile anterioare şi a insensibilităţii la mărimea eşantionului (Tversky şi Kahneman, 1974, în Metzger, 1997) par a fi inexplicabile şi eronate dacă sunt folosite în contextul unor situaţii statice sau al unor observaţii izolate. Însă atunci când sunt aplicate pentru predicţia comportamentului unor sisteme dinamice, ele au şanse să fie o sursă de predicţii corecte (Metzger, 1997). După explicaţia dată de Metzger (1997), acest lucru este de înţeles, deoarece, în context dinamic, estimările sunt revizuite constant pe baza informaţiei prezente, ceea ce face ca probabilităţile anterioare să aibă o

importanță redusă. La fel, într-un mediu dinamic, precizia în estimarea mediilor pentru eşantioane mari de observaţii anterioare nu are un rol important în predicţia precisă a unui singur eveniment. De aceea, influenţa mărimii eşantionului are un rol redus pentru predicţia următoarei observaţii într-un proces dinamic.

Sintetizând, s-ar putea conchide că modelele dinamice ale proceselor evaluative şi decizionale impresionează prin gradul de elaborare, susţinere empirică şi, mai ales, prin predicţiile noi confirmate, multe din ele surprinzătoare, care pun în impas teoriile explicative tradiţionale. În analiza dinamicii acestor procese, unele modele s-au concentrat pe importanţa factorilor de mediu ca parametri de control ai acesteia. Pentru că iau în considerare efectele pe care le au la nivelul deciziei şi evaluării proprietăţile unui mediu real: incompletitudinea, dinamismul şi neliniaritatea, astfel de modele dinamice sunt şi ecologice. Prin urmare, ele intră în contrast cu vechile teorii, în care mediul decizional era, în general, unul de tip static, sau cu o dinamică liniară, şi furniza, în cele mai multe cazuri, o informaţie completă. Un argument în plus pentru ecologitatea lor ar fi şi acela că ele sunt capabile să justifice, într-un mod mai natural, implicarea factorilor afectiv-motivaţionali în procesele evaluative, după cum s-a menţionat mai sus. Alte modele dinamice au investigat, în mod precumpănitor influenţa pe care natura dinamică a reprezentărilor mintale, a formării lor şi a raţionamentului o are în inducerea unei dinamici specifice şi la nivelul proceselor evaluative şi decizionale. Modelul elaborat de Townsend şi Busemeyer (1995) se evidenţiază prin caracterul său integrativ, care furnizează un cadru teoretic general pentru restul modelelor dinamice, mai specifice.

Interpretarea dinamică a proceselor limbajului

Procesele limbajului, ca procese psihice care au o evidentă desfăşurare temporală, au fost abordate dinamic din mai multe direcţii.

Prima ar fi aceea în care se evidenţiază natura limbajului ca structură emergentă a unui sistem dinamic complex. Astfel, Thor (1997) sugerează că limbajul e rezultatul unei dinamici interne autogenerate, imprevizibilă în cadrul anumitor graniţe, care sunt însă suficient de fixe pentru a susţine un sistem de comunicare. Prin urmare, în concepţia sa, limbajul ar fi un sistem dinamic care dispune de o oarecare autonomie. Thor

(1997) a plecat de la observația că nu toate emisiile vocale apar dintr-o nevoie comunicativă. În acest sens, el dă exemplul "scăpărilor" în exprimarea verbală (în engleză: "slip of the tongue") sau pe cel al emisiilor vocale, care nu sunt justificate printr-o motivare ideațională sau afectivă. În concepția sa, există o nedeterminare a emisiilor vocale în cadrul unor grade de libertate limitate (adică o nedeterminare constrânsă) care par a opera la mai multe niveluri din cadrul sistemului limbii. În consecință, el susține un tip de *limbaj emergent*, având caracterul predominant al unui limbaj gramatical și nu unul al unui limbaj reprezentațional. Un astfel de limbaj tinde să folosească cuvintele în sensul lor convențional și să genereze emisii vocale relativ scurte. Pentru situația în care producțiile sale sunt mai lungi, ele vor avea o gramaticalitate corectă la nivel local, dar vor fi incoerente la nivel global. Se întâmplă acest lucru, pentru că limbajul emergent ar dispune de autonomie în raport cu sistemul cognitiv, chiar dacă se află însă în interacțiune cu acesta. Autonomia sa îi va permite să aibă capacitatea de a iniția activități cognitive, el nefiind pur și simplu o "reprezentare unidirecțională a unei realități cognitive". Rezultatul final, emisia vocală, e privit de Thor (1994) ca impredictibil, pentru că este efectul negocierii (interacțiunii dinamice) între sistemul dinamic care produce limbajul emergent și sistemul cognitiv care generează ideile.

Un alt exponent de seamă al poziției care susține că limbajul este un sistem dinamic adaptativ complex care este un produs al unui proces de autoorganizare este Steels (1995, 2005). Provenind din rândul cercetătorilor din domeniul inteligenței artificiale, el a dovedit că este posibil să se simuleze emergența limbajului prin interacțiunea unor agenți robotici autonomi (Steels, 2005). Din această perspectivă, el privește limbajul ca emergând și schimbându-se continuu prin comunicarea unor agenți care au un comportament lingvistic localizat (Steels, 1995). Nici un astfel de agent nu poate avea un control complet asupra limbajului și nici nu este nevoie să existe vreun mecanism separat de învățare a limbajului. Poziția sa este precizată la nivel teoretic prin ideea că limbajul este un sistem adaptativ complex care este rezultatul emergent al acțiunilor utilizatorilor săi în timp ce ei "încearcă să rezolve probleme care țin de comunicare". Se presupune că diferitele elemente ale limbajului (fonetice, lexicale sau gramaticale) se află în competiție pentru a câștiga acordul global, efectul final fiind coerența întregului sistem (Steels, van Trijp și Wellens, 2007).

De Bot, Verspoor şi Lowie (2007) elaborează un studiu de sinteză asupra modelelor dinamice existente asupra limbajului şi dezvoltării sale, propunând, la rândul lor, o interpretare dinamică a procesului de învăţare a unei a doua limbi. Ideea generală pe care o susţin şi ei este aceea că limbajul "poate fi văzut ca un sistem dinamic", ca un set de "variabile care interacţionează în timp". În elaborarea acestei idei ei se bazează pe lucrarea lui Shanker şi King (2002, în De Bot et al., 2007), doi dintre cei mai importanţi promotori ai unei abordări dinamice a limbajului. Ea este comparată de către aceştia din urmă cu abordarea tradiţională din psihologia cognitivă, numită şi a prelucrării informaţiei, plecând de la două metafore care le-ar caracteriza pe fiecare în parte. Pentru abordarea prelucrării informaţiei, metafora utilizată ar fi aceea a fax-ului. În acest caz, limbajul este conceput ca similar schimbului de informaţii dintre două maşini de fax: una trimite informaţia codată în mesaje şi alta primeşte informaţia, decodând mesajele, procesul fiind secvenţial şi liniar. Limbajul este corespondentul codului folosit pentru transferul informaţiei dintre un emiţător şi un receptor. Metafora asociată abordării dinamice este aceea a dansului, care are la bază proceduri foarte simple (paşii), executate în mod coordonat în cadrul unei diade, de exemplu. El emerge ca un patern complex, printr-o schimbare şi adaptare constantă a mişcărilor celor doi parteneri, fiind neclar, cel mai adesea, care dintre ei este iniţiatorul schimbării (manifestare a ceea ce se numeşte *sincronie interacţională*). În orice formă de comunicare apar "unde de sincronie şi asincronie", existând o continuă adaptare cu scopul de a reduce asincronia. Shanker şi King (2002, în De Bot et al., 2007) subliniază faptul că sincronia interacţională este diferită de ideea de coreglare care apare în limbaj. Deosebirea ar consta în aceea că, în afară de sincronie, coreglarea presupune şi generarea unui sens dintr-o acţiune împreună.

Comparând şi ei cele două tipuri de abordări ale limbajului amintite mai sus, Waters şi Wilcox (2002, în De Bot et al., 2007) remarcă faptul că distincţia esenţială dintre ele este aceea că în cea tradiţională, a prelucrării informaţiei, cuvintele sunt concepute nu doar ca purtătoare ale sensurilor, dar ca şi conţinându-le pe acestea. În schimb, într-o abordare dinamică, sensul este construit, iar semnalele, gesturile, cuvintele implicate în comunicare sunt doar stimulente declanşatoare pentru construirea sensului (Thompson şi Valsiner, 2002, în De Bot et al., 2007).

În ceea ce priveşte poziţionarea faţă de ideea unei gramatici universale, De Bot et al. (2007) prezintă studii care demonstrează faptul

că o abordare dinamică nu este incompatibilă cu o astfel de idee, dar nu o presupune în mod necesar, existând mulți autori care interpretează dinamic baza limbajului. De exemplu, Cooper (1999, în De Bot et al., 2007) crede că este posibil să se conceapă o gramatică atractoare, în care regulile gramaticale să fie interpretate ca bazine de atracție. La fel, Hopper (1998, în De Bot et al., 2007) susține o poziție emergentistă în ceea ce privește sursa gramaticii, care este privită ca fiind ceva epifenomenal, ca un produs secundar al procesului de comunicare, și nu ca o colecție de reguli și structuri preformate, care ar fi ținta învățării. Acest lucru ar însemna că limbajul, ca și gramatica, nu sunt ceva ce se posedă, ci ceva se face, prin participarea la experiențele sociale (Larsen-Freeman, 2002, în De Bot et al., 2007).

Adoptând teoria dinamică generală a dezvoltării propusă de van Geert (1991, în De Bot et al., 2007), De Bot et al. (2007) elaborează un model propriu al învățării unei limbi străine. Ideea de bază a acestora este aceea că resursele (interne sau externe) implicate în dezvoltarea unui limbaj sunt deopotrivă limitate și cuplate dinamic. Ultima caracteristică ar permite existența unor relații compensatorii între diferitele tipuri de resurse, astfel că, de exemplu, efortul ar compensa lipsa de timp, iar motivația un input scăzut din mediu. De asemenea, anumite părți ale sistemului care se dezvoltă se susțin reciproc, prin cuplarea dinamică: de exemplu, dezvoltarea lexicului va contribui la dezvoltarea înțelegerii limbajului vorbit, ceea ce, la rândul său va determina o înțelegere și o interpretare mai ușoară a cuvintelor, și așa mai departe. O consecință ar fi aceea că, prin conexiunea dinamică a celor două, vor fi necesare mai puține resurse pentru dezvoltare lor decât dacă ele s-ar fi dezvoltat independent una de cealaltă.

Cea de-a doua direcție a abordării dinamice a limbajului, aflată în strânsă legătură cu prima, s-a concentrat pe dinamica sensurilor, pe emergența lor. Din acest punct de vedere, o primă observație care se impune este aceea că reprezentarea propoziției are un sens autonom, unul care nu e total dependent de cel al termenilor din care este formată. Se evidențiază, astfel, organizarea pe niveluri a dinamicii sensurilor, din dinamicile locale rezultând, prin emergență, una globală. Un susținător al unei astfel de idei este, de exemplu, Porte (1994), care consideră că o propoziție este "un conflict între conceptele care figurează în ea", sintaxa exprimând acest conflict dintre ele. În opinia sa, teoria catastrofelor ar fi cea mai potrivită pentru a analiza stabilitatea și conflictele acestor

concepte. Prin urmare, Porte (1994), inspirat şi de tezele semiofizicii, sugerează ideea existenţei unei reglări a conceptelor similară celei corespunzătoare formelor spaţio-temporale, desfăşurându-se după aceleaşi modele ale catastrofelor elementare. Potrivit unei ipoteze dinamice în lingvistică, Porte (1994) crede că "schemele acţionale identificate în lingvistica structurală sunt straturi, proiecţii gramaticale ale proceselor dinamice dintr-un spaţiu cu patru dimensiuni, în care conceptele admit modalităţi de reglare, logosul lor, girate prin teoria catastrofelor." (p. 284).

Autorul care a avut contribuţia cea mai extinsă la o dinamică a sensului a fost Thom (1988, în Porte, 1994), care a elaborat teoria numită de el semiofizică. Teza sa de bază este că orice proces semantic descris lingvistic "ar putea fi simbolizat printr-un proces dinamic" de tip catastrofic (Thom, 1994). Noţiunea cheie va fi aceea de pregnanţă, despre care s-a vorbit şi în secţiunile anterioare. Thom (1994) a introdus această noţiune pentru a da o interpretare dinamică genitivului şi verbului "a fi" cu funcţie predicativă. El afirmă că ea i-a fost sugerată de două fenomene: difuziunea luminii pe corpurile opace şi existenţa stimulilor condiţionaţi. De exemplu, carnea ar fi o "sursă" de pregnanţă alimentară, care se difuzează ca un fluid, pentru a contamina alţi stimuli, care au fost asociaţi satisfacerii foamei. Interpretarea dinamică a pregnanţei e aceea a unui bazin de atracţie, ca o sursă de potenţial, care are la baza sa forma (formele) sursă, iar pe pereţii laterali, ca nişte "balcoane interne", obiectele care sunt "iluminate" de pregnanţă. O noţiune strâns legată de aceea de pregnanţă este aceea de formă proeminentă. Formele proeminente sunt definite ca "existenţe stabile care contrastează cu mediul pe fondul căruia se detaşează" (p. 288), ca nişte discontinuităţi prin care un obiect se individualizează (Porte, 1994). În comparaţie cu ele, pregnanţele sunt entităţi care sunt în principiu invizibile, ca "un flux care se inserează într-o dinamică de gradient" (p. 288), care se propagă prin similaritate şi contiguitate într-un spaţiu, pornind de la o formă sursă (Porte, 1994). În descrierea lui Porte (1994), pregnanţele operează asupra proeminenţelor, la fel precum o minge (proeminenţa) este purtată de undele unui râu (pregnanţele). Pregnanţele sunt caracterizate ca fiind acele calităţi ale unui obiect individualizat prin proeminenţe pe care subiectul le consideră semnificative. Pe de altă parte, persistenţa unei proeminenţe depinde "de pregnanţele care o asaltează şi de efectele figurative care rezultă" (Porte, 1994, p. 289). De fapt, în opinia lui Porte (1994), ar fi vorba de un conflict între o pregnanţă care operează asupra unei proeminenţe şi pregnanţa individuantă care a generat proeminenţa. Orice întâlnire între

două entități, fie pregnanțe sau proeminențe, generează dinamica unui conflict, adică o pregnanță. În acest context al dinamicii pregnanțelor și proeminențelor, conceptele sunt văzute ca forme proeminente înzestrate cu o pregnanță a cărei difuziune e controlată. Prin limbaj, prin simboluri, s-ar media un transfer, o propagare a pregnanțelor către receptor, iar receptorul va înțelege mesajul prin "imunizarea" sa față de stimulul format prin percepția acelui mesaj (Porte, 1994).

O altă teză importantă a semiofizicii este aceea că forma proceselor neurofiziologice, dată de o dinamică generatoare, ar fi aceea care determină semnificația gândurilor. Înțelesul cuvintelor s-ar regăsi în singularitățile (pregnanțele) acestor procese dinamice generatoare, adică în punctele în care formele sunt create sau dispar (Porte, 1994). În viziunea lui Thom (1980, în Porte, 1994), orice concept cu caracter concret este izomorf unei ființe vii, actante, dobândindu-și stabilitatea structurală prin intermediul catastrofelor elementare. Prin urmare, el consideră ca justificată folosirea acestor catastrofe ca și grafuri elementare ale interacțiunilor, ca scheme de acțiune, care sunt puse în legătură cu verbele și substantivele. În acest fel, prin teoria catastrofelor, s-ar realiza trecerea de la formalismul matematic la limba obișnuită, prin intermediul formalismului geometric al catastrofelor, care este unul semantic, nu sintactic, ca cel anterior (Thom, 1994).

Thom (1980, în Porte, 1994) interpretează cele opt singularități legate de cele șapte catastrofe elementare, pentru care el dă o interpretare lingvistică cu semnificații ontologice, ca modele reglatoare și lingvistice. Cele opt singularități ar da naștere apoi la 16 morfologii gramaticale arhetipale (a fi, a se sfârși, a începe, a se schimba, a capta, a emite, a eșua, a se zdrobi, a respinge, a traversa, a se monta, a da, a trimite, a prinde, a lega și a tăia). Astfel, prima singularitate, minimum-ul simplu, adică puțul de potențial parabolic, semnifică ceea ce există, durează, fără a interacționa cu altceva. Spre deosebire de ontologia clasică, în acest caz, ceea ce durează are o condiție dinamică: rămâne neschimbat, pentru că se află pe fundul unui puț de potențial din care nu poate ieși. În formularea lui Porte (1994), puțul de potențial geometrizează condițiile energetice ale existenței oricărui sistem individualizat. Puțul este un actant, iar procesele de formare, deplasare și dispariție a acestor puțuri apar ca modificări în structura sistemului de interacțiuni între actanți. Interpretarea lingvistică dată este aceea prin verbul "a fi" sau "a dura", ca interpretare temporală, sau, într-o interpretare spațială, ca obiect existent, ca substantiv. Graful interacțiunii este o dreaptă.

Prima catastrofă elementară, pliul, a cărei singularitate organizatoare este o pantă care urcă sau coboară, nu are nici un puţ de potenţial, ci doar o zonă plată, instabilă, şi un punct de inflexiune în origine. Desfăşurarea acestei singularităţi prin varierea parametrului extern care controlează dinamica pliului duce la obţinerea fie a unei curbe de coborâre, fie a unei curbe care formează un S culcat. Se creează, prin urmare, un puţ de potenţial stabil în scobitura inferioară a lui S, atunci când parametrul extern are valoarea zero. Interpretarea pliului este aceea dată de procesele care încep cu ceva (prin apariţia unui atractor sau actant, odată cu apariţia cutei lui S) sau în care dispare ceva. Din punct de vedere lingvistic, i-ar corespunde verbele "a începe" şi "a sfârşi", ca interpretare temporală, şi, într-o interpretare spaţială, ca substantiv, graniţa, capătul. Graful interacţiunii este o semidreaptă care se opreşte sau care începe. Această catastrofă elementară modelează orice schimbare bruscă de tip elementar: apariţia sau dispariţia a ceva prin creaţia sau dispariţia puţurilor de potenţial locale (a actanţilor). Pentru catastrofa pliu, ar corespunde falia, ca interpretare spaţială, şi, pentru interpretarea temporală, graful capturii (incluzând evenimente cum ar fi acela în care o pisică înghite un şoarece), al spargerii, al ruperii (ca sens destructiv), sau al generării, devenirii, unirii (ca sens constructiv). Pentru catastrofa de tip coadă de rândunică, sensul spaţial dat este acela de fantă, de colţ, iar cel temporal, de destrămare, despicare sau a coase, a împreuna. Pentru catastrofa de tip fluture caracteristice ar fi verbele de tip trivalent (cum ar fi cele de a da, a spune, a arăta, a fugi), situaţiile de tip sursă-mesaj-receptor. Schema are două bifurcaţii, una pornind de la sursă, alta de la receptor. Interpretarea spaţială ar fi aceea de pungă, valvă, carapace, iar temporal aceea de a decoji, a deschide o valvă, a exfolia, a umple o pungă, a da, a primi, a goli. Ombilicului hiperbolic este asociat, spaţial, cu povârnişul, bolta, iar temporal, cu năruirea, spargerea unui val, acoperirea, ascunderea. Ombilicului eliptic i s-ar potrivi, ca sens spaţial, acul, sulița, părul etc., iar ca sens temporal a străpunge, a penetra, a astupa o gaură, a nimici. Ombilicului parabolic i-ar corespunde, spaţial, jetul (de apă), ciuperca şi gura, iar temporal oprirea unui jet, ejectarea, lansarea, găurirea, tăierea, prinderea, legarea, deschiderea, închiderea.

Trecând de la semantica cuvintelor la interpretarea dinamică a morfologiilor gramaticale, Thom (1994) susţine că acestea corespund, şi ele, diverselor catastrofe elementare. O sugestie pe care o face este aceea că ar fi posibil să se clasifice verbele după numărul de actanţi care sunt implicaţi într-o catastrofă corespunzătoare. Un verb ar putea avea de la un

singur actant ("Petru este" sau "Petru moare", corespunzând minimului simplu şi pliului), până la patru actanţi ("Petru trimite prin poştă o scrisoare lui Ion", corespunzând catastrofei de tip ombilic eliptic, cu varianta "mesager"). În concepţia lui Thom (1980, în Porte, 1994), structura oricărei propoziţii elementare este izomorfă cu aceea a discontinuităţilor fenomenologice cele mai generale spaţio-temporale, corespunzând schemelor de acţiune atribuite catastrofelor.

Se poate conchide că semiofizica are un înalt caracter speculativ, un limbaj specific care dublează, de multe ori inutil, termenii consacraţi din TSDN şi multe părţi discutabile. Dar nucleul său este valoros prin legătura pe care o face între formele (topologia) dinamicilor din spaţiul fizic şi formele dinamicilor din spaţiul mintal. Ea ar putea constitui o sursă de inspiraţie pentru acei cercetători care susţin teza cogniţiei încorporate, care doresc să înţeleagă modul în care ar fi posibil să se ajungă la semantica abstractă a cuvintelor de la interacţiunile senzoriomotorii cu un mediu dinamic. Însuşi Thom (1988, în Porte, 1994) precizează limitele semiofizicii, arătând că cele 16 procese spaţio-temporale arhetipale nu epuizează toate tipurile de verbe, toate procesele fizice şi lingvistice. Mai precis, ele nu sunt în stare să dea seama de verbele de tip static cum ar fi, de exemplu, "a conţine", "a înconjura", cele de tip negativ cum ar fi "a perfora", sau cele care se referă la unele procese psihice cum ar fi "a gândi" sau a "minţi". De aceea, el sugerează că universul semantic nu ar trebui redus doar la cele patru dimensiuni spaţio-temporale, ci la un spaţiu euclidian cu mai mult de patru dimensiuni. Dar, în acelaşi timp, Thom (1988, în Porte, 1994) emite ipoteza că, prin activitatea lingvistică, este posibil ca morfologiile care apar într-un spaţiu semantic cu mai mult de patru dimensiuni să fie proiectate într-un spaţiu unidimensional, temporal, cel al succesiunii în timp a cuvintelor.

Pentru a explica apariţia structurilor sintactice, a propoziţiilor nucleare ca rezultat al unui conflict de tip catastrofic, Thom (1988, în Porte, 1994) presupune că proiecţia pe spaţiul unidimensional lingvistic se face trecându-se printr-o etapă intermediară, prin proiecţia în spaţiul cvadridimensional, cel în care sunt definite catastrofele elementare. În acelaşi timp, autorul citat remarcă faptul că, prin proiecţia formelor din spaţiile semantice cu mai multe dimensiuni în spaţiul unidimensional al succesiunii cuvintelor, este posibil să se piardă informaţie. Un argument pe care îl invocă în acest sens este acela al limitelor limbajului în redarea

proceselor dinamice, apreciind că mai potrivită este descrierea geometrică dată prin teoria catastrofelor. Autorul menționat mai sus susține că doar un limbaj poetic special ar fi capabil să exprime faptul că ceva este, în același timp, identic cu și diferit de el însuși, așa cum se întâmplă cu un sistem dinamic aflat în mișcare. El își schimbă starea sau chiar stările atractoare, dar rămâne același, pentru că nu se schimbă legea dinamică (Porte, 1994). Thom (1990, în Porte, 1994) identifică și alte situații în care se relevă limitele limbajului în comparație cu teoria catastrofelor: aceea a dublei identități, apărând în paradoxurile logice care presupun autoreferirea, sau a fuziunii dintre doi actanți (care dinamic este interpretată ca fuziunea a doi atractori).

Un alt autor care a încercat să ofere o interpretare dinamică structurilor de limbaj la nivel gramatical este Wildgen (2005). El pleacă de la propunerea unei ierarhii de atractori, care ar permite, de exemplu, o interpretare a structurii unei propoziții. Predicatul acesteia, în întregul său, va reprezenta unul din atractorii unei configurații bistabile din spațiul stare al construcției semantice de tip subiect-predicat, celălalt fiind corespunzător subiectului. Informația lingvistică va fi atrasă către unul din cei doi atractori: cel pentru predicat sau cel pentru subiect. Atractorul predicatului este analizat, la rândul său, ca incluzând un câmp cu atractori locali mai puțin importanți: numele predicativ și complementele sale (fiind posibil ca acestea să aibă subatractori multipli).

Spivey și Dale (2004) sunt de părere că datele experimentale curente privind procesarea propozițiilor sunt în acord cu o viziune dinamică asupra limbajului, în cadrul căreia se realizează o integrare a proceselor de la nivel sintactic, semantic și pragmatic. La diverse scale temporale și de organizare se produc mereu aceleași procese dinamice. La nivelul procesării sunetelor apare competiția în timp dintre mai multe reprezentări fonemice parțial active (McMurray et al., 2002, 2003, în Spivey și Dale, 2004). În același mod, înțelegerea cuvintelor presupune o competiție în timp între reprezentări lexicale multiple, parțial active (Allopenna et al., 1998, Marslen-Wilson, 1987, McClelland și Elman, 1986, citați de Spivey și Dale, 2004). De asemenea, ambiguitățile semantice sunt rezolvate prin competiția unor reprezentări sintactice multiple, parțial active (MacDonald et al., 1994; Spivey și Tanenhaus, 1998; Stevenson, 1994; Tabor și Tanenhaus, 1999, citați de Spivey și Dale, 2004)

Natura dinamică a limbajului este susținută și de Shore (1995), care evidențiază, în același timp, și consecințele pe care le antrenează o

astfel de ipoteză în ceea ce privește concepția asupra modului de dezvoltare a limbajului. Autoarea citată sugerează că ne putem gândi că limbajul are același comportament ca și un sistem dinamic haotic. Ea își argumentează afirmația apelând la o analogie. La fel precum un sistem haotic prezintă, în mod tipic, un comportament cu "teme" și "variațiuni", nepărăsind niciodată, în mod definitiv, un patern și, în același timp, nerepetându-se nicicând, la fel nu există vreun patern fix al vreunui limbaj adult pe care copiii să-l învețe, ci fiecare individ folosește o variațiune, o versiune a limbajului. Aceeași autoare apreciază că dinamica neliniară ar fi aplicabilă și pentru a înțelege dezvoltarea limbajului, mai precis a celor două strategii care apar în decursul său. Astfel, în concepția sa, procesele analitice și cele sintetice, de formare a gestaltului, ar fi interpretate dinamic ca reprezentând doi atractori stabili care își exercită influența asupra prelucrării emisiilor verbale de către copil. În funcție de puterea relativă a unui atractor față de celălalt se vor contura diferite stiluri de învățare a limbajului. Posibilii parametri de control ai acestei dinamici ar fi diferențele contextuale și individuale în ceea ce privește mărimea paternurilor lingvistice pe care o persoană este capabilă să le distingă, după cum a fost sugerat de Peters (1983, în Shore, 1995). Schimbarea, în funcție de context, a unui stil de învățare s-ar explica, la rândul său, potrivit lui Shore (1995), prin proprietatea sistemelor haotice de a fi flexibile. De asemenea, autoarea anterior citată observă că noțiunea de sensibilitate la condițiile inițiale, care exprimă neliniaritatea dezvoltării limbajului, ar avea importanță în discutarea relației dintre educație și zestrea genetică în dezvoltarea limbajului. Existența unei astfel de sensibilități, faptul că nu este posibil să se facă predicții privitoare la influențele mediului asupra unui sistem, ar implica faptul că nu este de prea mare utilitate demersul prin care se consideră o variantă idealizată a limbajului, din care se elimină, apoi, elementele care se regăsesc într-un mediu generalizat, ca să se obțină, în final, contribuția datului genetic. O astfel de descompunere ar fi posibilă numai în ipoteza în care procesele de dezvoltare a limbajului ar fi liniare, și nu neliniare așa cum sugerează Shore (1995).

Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994) s-au concentrat, în mod special, pe evoluția în timp a utilizării cuvintelor, în care se reflectă deopotrivă dinamica semantică și cea a dezvoltării ontogenetice a limbajului. Autorii citați au urmărit schimbările care apar în folosirea unor cuvinte la scară temporală macro, între 3 ani și vârsta adultă, și la scară

micro, adică modificarea utilizării unui cuvânt, cum ar fi, de exemplu, adjectivul "mare", în funcție de context. Ei au ajuns la concluzia că utilizarea unui cuvânt în legătură cu un anumit obiect este rezultatul unui proces dinamic pe o scară temporală a microdezvoltării. Ceea ce se petrece la nivelul macrodezvoltării ar fi doar o schimbare a parametrilor și, eventual, a legilor dinamicii de la nivel micro. De exemplu, pentru cuvântul "mare", Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994) susțin că alegerea obiectului căruia i se potrivește cuvântul de mai sus este explicată prin evoluția unui proces dinamic către o stare atractoare într-un spațiu stare ale cărui coordonate (variabile dinamice) ar fi dimensiunile decizionale (criterii de decizie) specifice pentru cuvântul "mare": lungimea și înălțimea. Pentru a folosi cuvântul într-un anumit context, ar fi nevoie de o decizie prin care să se aleagă fie una din dimensiunile decizionale, fie o combinație a unor valori ale acestora ca și criteriu de decizie (Sena și Smith, 1990, în van Geert, 1994). Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994) presupun că relația între aceste variabile dinamice ar fi una de tip competitiv (competiția reciprocă fiind, în general, apreciată a fi un model abstract adecvat pentru procesele de microdezvoltare). În ecuația dinamică prin care se definește relația de competiție dintre cele două variabile, rata de creștere apare ca un parametru de control (Sena și Smith, 1990, în van Geert, 1994). După cum susțin Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994), acesta poate varia cu vârsta, depinzând de factori cum ar fi viteza de prelucrare a informației sau capacitatea memoriei de lucru, care influențează capacitatea de a lua în considerare mai mult de o dimensiune pentru a soluționa o problemă. La anumite valori ale parametrului în discuție, ambele variabile dinamice "supraviețuiesc" în starea atractoare și contribuie la sensul de "mare", rezultat care, după datele obținute de autorii citați, se regăsește în perioada adultă. Alți parametri de control sugerați de Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994) care ar fi adecvați pentru dinamica procesului de utilizare a cuvântului "mare" ar fi pregnanța perceptuală a uneia dintre dimensiuni și convențiile culturale și lingvistice. În acest model al competiției reciproce, se arată că, sub o anumită valoare a ratei de creștere, starea atractoare este una în care una din variabile are valoare maximă, iar cealaltă este anulată în final, chiar dacă, inițial, au fost la un nivel similar pentru un timp. Însă la valori mai mari ale ratei de creștere, este posibilă, ca stare atractoare, orice combinație de valori ale variabilelor dinamice. La nivel macro, după cum indică datele obținute de Sena și Smith (1990, în van Geert, 1994),

dinamica procesului se va schimba, astfel încât atractorul preferat va fi, pentru perioada cuprinsă între 3 şi 7 ani, cel corespunzător sensului de "înalt" pentru "mare", alegându-se, deci, stări atractoare în care predomină o singură dimensiune. La adulţi însă, există mai mulţi atractori, "mare" fiind interpretat, în funcţie de context, ca înalt, lung sau ca mărime globală. Autorii citaţi prevăd şi un model cu competiţie asimetrică între variabilele dinamice, în acest caz fiind posibil să apară fenomenul "preluării", în care un nou sens îl înlocuieşte complet pe cel vechi.

Posibilitatea ca procesele limbajului să emeargă în cadrul unui sistem dinamic neliniar a fost investigată din punct de vedere empiric prin construirea unor reţele conexioniste de tip recurent. Iniţiatorul unui astfel de demers şi cel care a înregistrat primele semne de reuşită în acest sens a fost Elman (1990), actualmente el fiind exponentul principal al acestei direcţii de cercetare. Ideea fundamentală de la care a pornit a fost aceea că nu este nevoie de reprezentări simbolice pentru ca un sistem artificial să înveţe ordinea temporală a cuvintelor şi structura abstractă a limbajului care stă în spatele său, acest lucru fiind realizabil şi în reţele neuronale dinamice care utilizează reprezentări distribuite (Elman, 1990).

Într-un prim studiu, Elman (1990) a reuşit să construiască o astfel de reţea care, primind ca input un mare număr de propoziţii, a ajuns să distingă între cuvintele care sunt verbe (şi în cadrul acestora între cele tranzitive şi cele intranzitive) şi cele care sunt substantive. Principiul de bază pe care l-a folosit a fost acela de a trata reţeaua ca un sistem dinamic simplu în care stările anterioare sunt făcute disponibile ca inputuri adiţionale la un moment dat. El a fost utilizat pentru prima oară de Jordan (1986, în Elman, 1991). Dar dacă la Jordan (1986, în Elman, 1991) erau folosite ca input adiţional stările de output dintr-un pas anterior, la Elman (1991) inputul suplimentar este acela al stărilor interne date de activările din ciclul anterior al unităţilor ascunse din reţea. În acest fel, recurenţa este realizată prin intermediul unor unităţi "contextuale".

Elman (1991) susţine că o astfel de reţea este capabilă să dezvolte reprezentări care codează structura temporală a unei sarcini, de unde importanţa ei pentru sarcinile de învăţare a limbajului. El reuşit să demonstreze că ea a putut prezice ordinea cuvintelor în propoziţii simple sau cu structură mai complexă, care au propoziţii secundare intercalate. Autorul anterior citat remarcă faptul că o astfel de reţea a învăţat să abstractizeze şi să generalizeze nu devenind insensibilă la context, ci învăţând să răspundă unor contexte care sunt mai abstract definite. De

aceea, arată el, reprezentările dintr-o astfel de rețea nu sunt insensibile la context ca și cele simbolice, ci au o natură dinamică și flexibilă. Față de modelele simbolice, în care nu se recunoaște interacțiunea formei cu sensul, printr-o rețea conexionistă de acest tip reprezentările se formează tocmai în baza acestei interacțiuni (Elman, 1991). Comportamentul unei astfel de rețele l-a inspirat pe Elman (1991) să afirme că pentru înțelegerea propozițiilor nu există un stadiu al evocării lexicale, cuvintele nejucând rolul unor cărămizi în construirea sensului acestora. El evidențiază că nu există reprezentări ale cuvintelor izolate, ci reprezentarea unui cuvânt reflectă întotdeauna inputul curent împreună cu starea anterioară. Prin urmare, rolul cuvintelor ar fi mai degrabă acela de indicatoare care ghidează dinamica rețelei prin diferite stări gramaticale. Cuvintele s-ar distinge nu prin sens, ci prin proprietățile lor cauzale. Din acest punct de vedere, Elman (1991) este de părere că ele sunt comparabile cu un cod numeric prin care se poate deschide o casă de bani, În cazul lui, efectul fiecărei cifre este în funcție de context, fiind vorba de ceea ce s-a numit a fi o "compoziționalitate funcțională" a unor astfel de reprezentări. Ele nu trebuie să fie fizic prezente pentru a putea avea proprietăți cauzale. Reprezentările sunt apreciate ca "prezente" în măsura în care sunt responsabile pentru o starea finală care s-a actualizat, prin faptul că au determinat-o pe aceasta. Prin urmare, în concepția autorului mai înainte citat, ceea ce s-ar putea numi o reprezentare este, cel mult, un fel de instantaneu fotografic, la un moment dat, al stărilor mintale (Elman, 1991). Ținând cont de simulările făcute cu rețele recurente, Weckerly și Elman (1992) concluzionează că acestea pot prezenta un comportament abstract, productiv și sistematic, pe baza unor reprezentări interne structurate de un alt tip decât cele simbolice, ele fiind capabile să reprezinte chiar aspecte ale unei structuri gramaticale.

Cercetările citate mai sus l-au condus pe Elman (1995) să considere că limbajul este un sistem dinamic, în care reprezentările lingvistice nu sunt simboluri abstracte, ci regiuni ale unui spațiu stare. Astfel de reprezentări sunt sensibile la context, variabile în mod continuu, probabiliste, referenții lor fiind mai degrabă traiectoriile din spațiul stare și nu obiecte externe. În concepția sa, regulile de operare cu cuvintele nu pot fi interpretate ca operații asupra unor simboluri, ci sunt, și ele, încorporate în dinamica unui sistem. Cu alte cuvinte, gramatica ar fi dată de atractori și repulsori care constrâng mișcarea într-un spațiu stare reprezentațional (Elman, 1995). Autorul menționat ține însă să remarce că acest lucru nu

înseamnă că neagă guvernarea comportamentului lingvistic prin reguli, ci doar că afirmă că natura acestor reguli este alta decât s-a crezut până acum, adică nu una simbolică.

Elman (1995) face, astfel, o distincție importantă între o abordare computațională simbolică și una bazată pe ideea de comportament guvernat de reguli, care pot fi structuri emergente într-un sistem dinamic. În acest context, ca un argument în favoarea unei astfel de viziuni, Elman (1995) observă paradoxul că, deși procesele limbajului se desfășoară în mod clar în timp, că sensul unei propoziții apare gradual, modelele tradiționale au o natură statică surprinzătoare. Ea este dată de pre-existența unui lexicon (la fel ca și cuvintele într-un dicționar), de cerința ca toate elementele care participă la înțelegerea unei propoziții să fie simultan prezente, de proprietățile reprezentărilor cu care operează, care sunt discrete, statice, pasive și independente de context (Elman, 1995). Toate acestea, Elman (1995) le consideră ca fiind consecințe ale separării artificiale dintre modelele competenței (care ignoră timpul) și cele ale performanței (care iau timpul în considerare) în explicarea limbajului. Autorul anterior citat arată că modelele statice ale limbajului nu doar că nu sunt plauzibile din punct de vedere neurofiziologic, venind în dezacord cu datele existente, ci și din punct de vedere explicativ. Chiar dacă ele reușesc să ofere interpretări justificative pentru o mare parte din date, acestea sunt, în opinia lui Elman (1995), adesea, eronate, inconsecvente și de tip ad-hoc, iar, uneori, controversate.

În ceea ce privește propriul său model, autorul mai sus numit subliniază că el este conștient de limitele sale și de faptul că datele obținute prin simulările cu rețele recurente sunt doar sugestive și nu pe deplin doveditoare pentru validarea lui. Elman (1995) observă, însă, că o sursă a limitelor în performanța care se obține cu rețelele recurente elaborate de el este aceea că astfel de rețele nu sunt încorporate, adică nu interacționează senzorio-motor, în timp real, cu un mediu. El crede că, dacă ele ar fi incluse într-un astfel de sistem artificial încorporat, performanțele lor s-ar îmbunătăți. În plus, după cum remarcă Bates și Elman (2002), la ora actuală nimeni nu înțelege limitele și capacitățile sistemelor dinamice neliniare de a simula fenomenele cognitive și, prin urmare, orice este posibil în viitor.

În acest sens, un exemplu ilustrativ pentru posibilitățile surprinzătoare ale unor astfel de rețele este acela al modelului construit de Rodriguez, Wiles și Elman (1999). Aceștia au folosit teoria sistemelor

dinamice pentru a analiza comportamentul unor rețele neuronale recurente care au fost antrenate într-o sarcină de învățare a unui limbaj artificial care implica și învățarea numărării. În limbajul artificial utilizat, fiecare "propoziție" consta dintr-un număr de a-uri și b-uri, iar un șir gramatical era format din *n* a-uri și *n* b-uri Adică numărul a-urilor și b-urilor trebuia să fie egal. Un astfel de limbaj, deși simplu, a fost apreciat de către autorii mai sus menționați ca fiind asemănător, din multe puncte de vedere, cu limbajul uman. Motivul este acela că este nevoie ca în sistem să existe o cale prin care să se rețină câte a-uri au fost pentru a ști la câte b-uri să se aștepte. Rețeaua recurentă folosită pentru a învăța acest limbaj artificial a fost capabilă să generalizeze regula de alcătuire a șirurilor gramaticale date ca stimul, reușind să recunoască ca fiind gramaticale șiruri mai lungi decât cele date în faza de învățare. Prin analiza din prisma TSDN, Rodriguez et al. (1999) au demonstrat că rețeaua avea atractori a căror dinamică semăna cu aceea a unui pendul. Autorii mai sus citați au asemănat această dinamică cu traiectoria urmată de un copil care se dă pe un balansoar, care este tras și apoi lăsat liber să se legene. În cazul de față, sistemul dinamic este cel aflat în balans. Cu cât mai multe a-uri erau într-un stimul, cu atât mai împins față de poziția de echilibru era sistemul. Când apar b-urile, e ca și cum sistemul ar fi lăsat liber să se legene, oscilând, până se ajunge la poziția de oprire. Un asemenea comportament ilustrează un tip dinamic de memorare a numărului de a-uri și, în același timp, faptul că nu este nevoie de o operație de comparare a unor simboluri pentru a recunoaște că numărul de a-uri și b-uri este egal.

Dovezi suplimentare teoretice și empirice cu privire la posibilitățile de modelare a limbajului ca emergent în sistemele dinamice simulate prin rețele neuronale recurente se regăsesc la Tabor și colaboratorii săi (Tabor și Tanenhaus, 1999; Tabor și Galantucci, 2000; Tabor și Hutchins, 2004). Rețelele folosite de aceștia sunt de tipul celor construite de Elman, dar au componente adaptate pentru sarcina specifică a partiționării propozițiilor. Datele obținute în simulările cu astfel de rețele s-au aflat în acord cu cele obținute pe subiecți umani, confruntați și ei cu sarcini de partiționare a unor propoziții care erau ambigue din punct de vedere sintactic. Acest lucru i-a determinat pe Tabor și colaboratorii săi să conchidă că modelul dinamic are, din această perspectivă, un avantaj față de modelele simbolice de partiționare, incapabile să explice astfel de date.

De asemenea, poziția teoretică a lui Kaneko (1998) și modelul elaborat de Kataoka și Kaneko (1999, 2000) pentru generarea structurilor

simbolice în cadrul comportamentului unui sistem dinamic de funcții recurente (prezentate mai pe larg în secțiunile anterioare) pot fi considerate similare ca principiu cu demersul studiilor citate mai sus, întreprinse de Elman.

După cum se remarcă din cele expuse anterior, mai ales în baza celor constate de Elman (1995), într-o interpretare dinamică a limbajului, rolul și funcțiile cognitive ale cuvintelor se pot schimba. Din aceeași perspectivă ca și Elman (1995), Varela (1993)) sugerează și el că, în opinia sa, ar fi potrivit să se interpreteze cuvintele ca acționând ca niște chei, dobândind astfel posibilitatea de a juca rolul de înlocuitori sau semnificanți pentru diverse situații din mediu. Ideea lui s-ar traduce în terminologie dinamică prin aceea că un cuvânt ar funcționa ca un comutator, care permite schimbarea stării inițiale de la care își pornește evoluția un sistem dinamic sau schimbarea valorii unui parametru de control care controlează un astfel de sistem. În acest fel, și dinamica sistemului se va schimba, modificându-și regiunea atractoare spre care va evolua (regiunea atractoare în care va ajunge fiind asociată sensului cuvântului). Potrivit lui Varela (1993), limbajul este important nu pentru că este purtător de sens, ci pentru că forma sonoră a cuvintelor activează rețele replicative și dinamici de ordin superior, ceea ce ar echivala cu o autostimulare prin cuvinte. Prin urmare, prin cuvinte nu s-ar simboliza nimic, ci doar se activează stări interne potențiale care reprezintă stări preferențiale în care un dinamism intrinsec tinde să se stabilizeze. Există mai multe posibile consecințe ale unei astfel de viziuni. Una ar fi aceea că, prin limbaj, s-ar optimiza procesul de învățare al parametrilor de control importanți pentru dirijarea propriei dinamici într-o direcție dorită. O alta ar fi aceea că ceea ce se consideră a fi sisteme simbol, cuvintele, ar avea nu atât funcția de "cărăuși" de informație, în mod direct, ci una, indirectă, de stabilizare a unei dinamici interne, de menținere a ordinii care emerge în cadrul unei astfel de dinamici prin cuplarea cu sistemele dinamice din mediu (Oaksford și Malloch, 1994).

Raportând limbajul, ca proces interpretat prin prisma TSDN, la alte procese cognitive, Anderson (2003) evidențiază și faptul că vorbirea nu mai poate fi socotită ca exprimare exterioară a ceva ce este în interior, din moment ce nu există reprezentări statice interne (cel puțin nu în sensul clasic în care ele sunt definite) care să fie exprimate. Prin urmare, el interpretează dinamic funcția vorbirii în cadru sistemului cognitiv, ca o cale de a schimba ceea ce este în interior, fiind ea însăși "o activitate de reprezentare" (Anderson, 2003).

Cele expuse mai sus conduc la concluzia că, deşi limbajul, apreciat a fi o activitate simbolică, pare a se preta exclusiv unei modelări computaţionalist simbolice, există, totuşi, argumente de ordin teoretic şi empiric pentru o interpretare a sa din perspectiva TSDN. Un model dinamic al limbajului are consecinţe la nivelul înţelegerii modului de învăţare şi de dezvoltare al limbajului, pe de o parte, şi la nivelul funcţiilor atribuite acestuia în cadrul sistemului psihic, mai ales în cadrul celui cognitiv. Dovezile empirice provin, în special, din direcţia studiilor dezvoltării ontogenice a limbajului, din cele asupra învăţării şi utilizării sensului cuvintelor şi din simulările făcute în reţele conexioniste de tip dinamic.

Interpretarea dinamică a proceselor atenţionale

Fluctuaţii în concentrarea atenţiei sub forma unor blocaje la anumite intervale de timp, care sunt independente de factori cum ar fi starea de oboseală sau stimulii percepuţi, au fost evidenţiate în psihologia experimentală încă de la începutul secolului trecut (Bills, 1931, în Zörgo, 1963). Natura relativ autonomă a acestor fluctuaţii sugerează existenţa unui dinamism intern al sistemelor care asigură suportul neurofiziologic al proceselor atenţionale. Nu am întâlnit însă studii care să investigheze sistematic dinamica concentrării atenţiei din perspectiva TSDN. La nivel speculativ, în lumina rezultatelor obţinute de Skarda şi Freeman (1997) şi a interpretării lor teoretice, este posibil ca fluctuaţiile amintite să fie o manifestare a naturii haotice a atractorilor formaţi în reţelele neuronale perceptuale. Rolul lor ar fi acela de a anula efectul unui stimul anterior asupra dinamicii interne, astfel încât un nou stimul să fie perceput. Apariţia mai frecventă a unor astfel de fluctuaţii ale atenţiei ar putea fi semnul creşterii instabilităţii sistemului dinamic perceptual.

O interpretare dinamică a atenţiei nu înseamnă doar o modelare a evoluţiei sale în timp, ci şi redefinirea funcţiilor ei în cadrul unui sistem cognitiv care e abordat din perspectiva TSDN. În acest sens, contribuţiile sunt ceva mai numeroase, dar speculative, existând o serie de autori care au regândit rolul atenţiei în cadrul proceselor cognitive, atribuindu-i, fiecare, alte funcţii decât cele care i-au fost asociate în mod tradiţional.

Un prim exemplu ar fi cel al lui Goertzel (1998), care emite ipoteza că limitele impuse cunoaşterii de banda îngustă perceptuală sunt depăşite cu ajutorul atenţiei, care ar fi un proces responsabil pentru ceea

ce el numeşte "segmentare perceptuală" (în engleză: "perceptual chuncking"). El aseamănă această segmentare cu tehnica TSDN de analiză a datelor prin care se realizează descompunerea unei serii temporale în vectori de întârziere. Această tehnică îi permite unui matematician să reconstituie atractorul unui sistem dinamic din înregistrările făcute progresiv în timp asupra uneia din variabilele sale. În acelaşi fel, mecanismul segmentării perceptuale ar permite reconstituirea de către sistemul cognitiv a unui sistem multidimensional, atunci când el are acces prin sistemul perceptual doar la o singură măsurare unidimensională. Reconstituirea obţinută nu ar fi însă una perfectă, ci, în concepţia lui Goertzel (1998), este doar o aproximare probabilistă a atractorului. Dintr-o perspectivă inversă, ideea de bază a lui Goertzel (1998) este că "metoda matematică a analizei seriilor temporale neliniare este o versiune idealizată a tehnicilor pe care mintea le foloseşte pentru a înţelege seriile temporale ale datelor perceptuale care sunt prezentate în mod continuu". În concluzie, atenţia, care face posibil procesul de segmentare, ar fi importantă pentru cunoaşterea comportamentului sistemelor dinamice neliniare cu care un organism interacţionează.

Pentru Haken (1995a), atenţia joacă rolul unui parametru de control în dinamica care descrie procesul de recunoaştere a paternurilor. În concepţia sa, la rândul ei, atenţia va avea o dinamică proprie, care e cuplată cu dinamica parametrului de ordine care descrie evoluţia spre un patern complet, atunci când se pleacă de la unul incomplet. Datorită acestei cuplări ar apărea fenomenul saturaţiei atenţiei, adică scăderea la zero a valorii sale atunci când un patern este recunoscut, parametrul de ordine având în acest caz valoarea maximă.

Concepţia iniţială este rafinată printr-o elaborare mai detaliată de către Haken împreună cu Tschacher et al. (2003), abordând problematica atenţiei de pe poziţiile termodinamicii sistemelor dinamice disipative departe de echilibru. Aşa cum s-a văzut şi într-o secţiune anterioară, ei pleacă de la ideea că gestalturile pot fi conceptualizate ca şi "paternuri cognitive autoorganizate". Se presupune că ele se formează pentru că, astfel, are loc o reducere mai eficientă a gradienţilor din mediul sistemelor care formează gestalturile. Dar, observă autorii mai sus citaţi, atunci când aceşti gradienţi sunt reduşi sub un anumit prag, este posibil să apară un fenomen de comutare la un gestalt care înainte era apreciat ca mai puţin pregnant (care disipa gradienţii cu mai puţină eficienţă). Progresiv, pe măsură ce stimularea devine din ce în ce mai puţin

pregnantă, comutările între gestalturile disponibile se fac la intervale de timp din ce în ce mai scurte (de exemplu, Kruse et al., 1992, în Tschacher et al., 2003). Gradientul în baza căruia se formează gestalturile se consideră de către autorii citați a fi acela al vigilenței sau curiozității (corelate resurselor atenției). Un gestalt stabilit consumă gradientul care l-a generat (rezultat din activitatea talamică, prin legarea cortexului de sistemul reticular ascendent) Pe măsură ce el este scăzut progresiv, prin paternurile care se formează, ele vor dispărea, la rândul lor, dând naștere așa numitului proces de habituare, saturare sau extincție (Tschacher et al., 2003). Este evidențiată, astfel, o dinamică circulară, în care getsalturile consumă chiar resursele atenționale care le-au permis emergența.

Kentridge (1994) susține că atenția ar corespunde activității de fond difuze dintr-o rețea neuronală, care ar avea rolul de a controla valorile critice ale parametrilor de control pentru care se produc tranziții de fază într-o rețea. Ideea autorului citat, ar fi, prin urmare, una similară cu a lui Haken (1995a), atenția fiind interpretată ca un parametru de control. Însă, de această dată, în vizor nu sunt efectele sale directe asupra unui sistem dinamic, ci cele indirecte, care se obțin prin modularea efectelor altor parametri de control (de exemplu, în catastrofa fluturelui, despre care s-a discutat într-o secțiune anterioară, apare un astfel de parametru de control, cu rol modulator, care scalează valorile critice ale altor parametri de control).

O altă interpretare dinamică a atenției, propusă de Vallcher și Nowack (1994a), pleacă de la observația că, din punct de vedere cibernetic, ne putem aștepta ca formarea atenției și acțiunea direcționată spre un scop să fie asociate unor atractori de tip punct fix. Autorii mai sus citați pun, astfel, în legătură un anumit tip de dinamică a sistemului cognitiv cu un anumit tip de comportament față de un stimul, pentru a explica stabilizarea reprezentării acelui stimul sub forma unui atractor punctual. Cu alte cuvinte, este de presupus că, în acest mod, s-ar realiza un fel de liniarizare locală a dinamicii în zona stimulului aflat în centrul atenției, permițând "fixarea" și "delimitarea" sa. Un asemenea efect, de schimbare a dinamicii, s-ar datora tot unui parametru de control, care ar putea fi asociat atenției. În această interpretare, ar fi posibil ca atenția să îndeplinească și funcția de segmentare perceptuală de care vorbește Goertzel (1998).

După cum s-a menționat și mai sus, rolul atenției de a influența dinamica unei reprezentări, de a o stabiliza, a fost evidențiată experimen-

tal şi de Hayes şi Freyd (2002). Temprado (2003) este un alt autor care susţine că atenţia reprezintă "o variabilă care intervine în stabilizarea paternurilor comportamentale". Acest autor îşi leagă concepţia sa de modul în care este privită în mod clasic atenţia, ca exprimând alocarea resurselor energetice sau a efortului într-o anumită sarcină. El evidenţiază faptul că există o corespondenţă între "stabilitate şi nivelul energetic (mintal) al paternurilor de coordonare". În concepţia sa, "încărcătura atenţională" reprezintă, în mare parte, "cantitatea de energie necesară pentru a menţine un patern de coordonare, adică, pentru a-l stabiliza faţă de forţe stocastice inerente perturbatoare". O astfel de perspectivă implică faptul că, cu cât sistemul disipă o cantitate mai mică de energie pentru a menţine un patern coordinativ (pentru că acesta este mai stabil), cu atât mai multă energie în surplus va avea pentru a stabiliza suplimentar acest patern sau un altul, în mod "intenţional" (adică prin mobilizarea unor noi resurse energetice ale atenţiei). În lumina unei asemenea interpretări, comutarea intenţionată a atenţiei presupune "(de)stabilizarea selectivă a stărilor coordinative preferate existente", iar învăţarea ar implica stabilizarea noilor stări atractive prin exerciţiu. Schimbarea alocării resurselor atenţionale în mod intenţionat ar avea la bază o dinamică de nivel superior, care se manifestă la nivelul variabilei colective (parametrul de ordine), aceasta fiind atrasă către anumite stări atractoare. Dinamica prin care se realizează stabilizarea intenţională suplimentară va coopera cu dinamica de coordonare "spontană", influenţându-i stabilitatea (Temprado, 2003).

Temprado (2003) face o distincţie între partea intenţională şi cea atenţională a dinamicii de nivel superior care este cuplată cu cea spontană. Printr-o intenţie explicită s-ar specifica parametrul de ordine caracteristic paternului dorit. Atenţia, în schimb, ar presupune o fixare a "puterii cuplării dintre componentele care execută paternul intenţionat" (Temprado, 2003). Prin urmare, Temprado (2003) echivalează creşterea intenţionată a stabilităţii unui patern prin intermediul resurselor atenţionale ca reprezentând o "întărire a cuplării" dintre componentele sistemului care generează paternul, o idee care se regăseşte şi la Kelso (1994, în Temprado, 2003). Prin prioritatea atenţională, parametrul de ordine este stabilizat în plus faţă de dinamica spontană către o stare atractivă existentă (Temprado, 2003).

Pe baza modelului teoretic propus de el, Temprado (2003) a efectuat o serie de cercetări empirice. Ideea de plecare a fost aceea de a evalua costurile atenţionale specifice necesare pentru stabilizarea paternu-

rilor de coordonare preferate (care implică mişcări coordonate ale membrelor) faţă de restul paternurilor. Acest lucru ar permite ca, ulterior, să se obţină o măsură a nivelului lor energetic de bază. Rezultatele obţinute au indicat, în primul rând, că se poate creşte intenţionat stabilitatea paternurilor de coordonare preferate, dincolo de nivelul atins atunci când nu li se acordă nici o atenţie specială. În al doilea rând, stabilitatea acestora a variat în funcţie de prioritatea atenţională pe care participanţii o acordau sarcinii de coordonare. În al treilea rând, sensibilitatea la concentrarea atenţională s-a modificat în funcţie de stabilitatea intrinsecă (spontană) a unui patern. Ea a fost mai scăzută pentru paternurile care sunt din start mai stabile, ele fiind mai puţin afectate de o modificare intenţionată a coordonării. Concentrarea atenţiei pe sarcina coordonării a implicat o scădere a variabilităţii paternului, simultan cu o creştere a timpului de răspuns, faţă de situaţia în care atenţia este distribuită. Pentru că timpul de răspuns a crescut la fel de mult, indiferent de stabilitatea intrinsecă a paternului care trebuie obţinut prin coordonare, presupunerea lui Temprado (2003) a fost aceea că timpul în cauză nu ar corespunde nivelului de stabilizare realizat, ci mai mult "încărcăturii atenţionale" necesare pentru a realiza stabilizarea intenţionată. Un astfel de rezultat îi sugerează autorului citat posibilitatea de a considera timpii de răspuns ca parametri de ordine pentru a caracteriza anumite paternuri coordinative, impunând însă anumite condiţii suplimentare. În cazul paternurilor care au în mod spontan o stabilitate ridicată, a apărut un efect de plafonare, astfel încât, indiferent de nivelul atenţional, stabilizarea nu este posibilă dincolo de un anumit prag, existând mereu o variabilitate minimală care nu poate fi eliminată.

Concluziile care au fost desprinse de către Temprado (2003), în urma studiilor sale, ar fi următoarele. Dinamica intrinsecă a coordonării constrânge posibilităţile unui subiect de a stabiliza suplimentar, în mod intenţionat, un patern de coordonare, influenţând, în acelaşi timp, şi costurile atenţionale necesare pentru a obţine un anumit nivel al unei astfel de stabilizări. Cu alte cuvinte, stabilitatea inerentă a unui patern va limita modularea intenţionată a variabilităţii sale şi nivelul resurselor atenţionale necesare acestei modulări.

Dale şi Spivey (2005) pun în discuţie disputa serial-paralel în ceea ce priveşte alocarea resurselor atenţionale, oferind o perspectiva dinamică asupra sa. Citând diverse studii (de exemplu, Desimone şi Duncan 1995, Reynolds şi Desimone 2001, în Dale şi Spivey, 2005), ei pledează pentru

o concepere a atenției ca implicând reprezentări parțial active ale unor obiecte, care se află simultan în competiție pentru o asociere probabilistă cu outputul motor, și nu ca fiind o alocare completă și discretă a resurselor sale unor obiecte individuale, în mod succesiv.

Pe baza sugestiilor făcute de cei câțiva autori citați, se conturează ideea că o interpretare dintr-o perspectivă dinamică a funcției atenției ar fi aceea de parametru de control pentru dinamicile mintale. Efectele sale asupra unei astfel de dinamici pot să fie directe sau indirecte, variind și în funcție de valoarea sa. E de presupus că, pentru anumite valori, ca parametru de control, atenția ar permite stabilizarea dinamicii, adică ar facilita stabilizarea reprezentării unui stimul. Acest caz ar corespunde fazei de concentrare a atenției. Pentru alte valori însă, ar induce un comportament haotic, adică o instabilitate controlată în sistem, ceea ce ar permite, ulterior, stabilizarea reprezentării altor stimuli (așa cum se sugerează de către Skarda și Freeman, 1997). Situația corespunzătoare ar fi aceea a fazei de reorientare a atenției. Este posibil, după cum s-a menționat și mai sus, ca un asemenea parametru de control să fie cuplat cu parametri de ordine sau variabile aparținând sistemului dinamic controlat.

O astfel de viziune dinamică inversează raportul dintre atenție și reprezentări, așa cum este el văzut tradițional. Există tendința să se creadă că, ajungând în atenție, reprezentările mintale devin active, sunt puse în mișcare. Dar dacă prin atenție se controlează un dinamism mintal, s-ar putea spune că, intrând în atenție, reprezentările, dimpotrivă, se stabilizează, își pierd din dinamism. Cu alte cuvinte, dacă într-o abordare computațională simbolică era nevoie de forțe exterioare pentru a schimba reprezentările mintale, în modelele de tip dinamic este nevoie de forțe exterioare pentru a le ține în frâu și a le controla dinamismul.

Plecând de la schița unui model dinamic al atenției, prezentată mai sus, consider că se poate sugera și ideea că, variind atenția în mod continuu, s-ar obține și o schimbare continuă a gradului de stabilitate a unei reprezentări. Pentru că este plauzibilă ideea că reprezentările mintale dinamice ar putea fi coerentizate cu altele doar atunci când au niveluri intermediare de stabilitate, este posibil ca, la anumite valori ale atenției, să apară fenomenul structurării unui patern nou de stimuli. O astfel de structurare ar fi, de exemplu, și combinarea de trăsături în formarea percepțiilor și conceptelor, un efect asociat în mod tradițional atenției. Dacă reprezentările sunt prea stabilizate prin "concentrarea" atenției, ele

vor fi cu greu schimbate prin dinamismul altora. În schimb, dacă ele sunt prea instabile, datorită "neatenției", nu vor fi în stare să formeze organizări stabile, coerente, la un nivel superior. De aceea, e de presupus că ele ar trebui să se afle într-o stare intermediară de agregare pentru a determina apariția unor forme de organizare emergente la nivel superior, după cum se va vedea în secțiunea următoare că susțin o serie de autori (de exemplu, Combs, 1995). Cu alte cuvinte, dinamica lor trebuie să contribuie la o dinamică aflată la limita haosului a sistemului dinamic complex în care sunt încorporate, stare în care, în cadrul acestuia, se vor produce structurări spontane la nivel superior. Se întrevede și posibilitatea existenței unei relații între gradul de instabilitate a reprezentărilor (controlat prin intermediul atenției) și numărul "unităților" care ajung să fie coerentizate sau stabilizate simultan, astfel fiind explicabile datele cu privire la volumul limitat al atenției, respectiv al memoriei de scurtă durată.

Sintetizând, se constată că, dintr-o perspectivă dinamică, ar exista două posibilități de interpretare generală a atenției. Una dintre ele ar acoperi o distincție a unei categorii de aspecte care apar în dinamica oricărui sistem mintal. O alta ar corespunde statuării unui sistem dinamic cognitiv separat care ar avea funcțiile atenției. După cum se va remarca în secțiunea următoare, mai ales în prima versiune de interpretare, problematica dinamicii atenției se va confunda cu problematica dinamicii conștiinței, între cele două existând o strânsă legătură. Ele pot fi considerate ca aspecte diferite ale unui același fenomen mintal.

Interpretarea dinamică a stărilor de conștiință

Cea mai mare parte dintre lucrările care au tratat problema stărilor de conștiință din perspectiva TSDN au o singură idee centrală, conform căreia tranziția între stările de conștiință ar echivala cu tranzițiile de fază ale sistemelor dinamice mintale, o stare de conștiință reprezentând un anumit regim dinamic al acestora. Ele diferă mai ales prin descrierea tipului de dinamică care ar corespunde unei stări de conștiință și prin parametrii de control sau de ordine propuși.

Astfel, de exemplu, Combs (1995) susține că o stare de conștiință poate fi conceptualizată ca un atractor haotic, care coagulează un număr mare de elemente într-un patern unificat de activitate, autoorganizându-se. Un argument în favoarea unei asemenea ipoteze, invocat de

autorul citat, este acela că atracția către o configurație coerentă de stări, realizată printr-un atractor, s-ar manifesta, la nivelul introspecției, prin senzația unei tendințe de a "cădea" într-o anumită stare de conștiință în mod involuntar. La nivelul creierului, atractorul corespunzător conștiinței, după ipoteza lui Combs (1995), ar fi unul de tip straniu, având o structură complexă, cu "aripi" și "compartimente". Acestea, în concepția sa, ar reprezenta, de fapt, atractori mai mici, asociați unor stări particulare de conștiință. El observă însă că, deși procesele conștiinței sunt de tip haotic, nu înseamnă că ele prezintă proprietăți haotice în fiecare moment sau pe intervale scurte de timp. Ca și în cazul proceselor neurologice, după cum au demonstrat Barar (1993, în Combs, 1995) și Pribram (1994, în Combs, 1995), și în cazul stărilor de conștiință s-ar trece de la paternuri de activitate relativ haotice la altele de natură ciclică sau chiar statică, care ar reprezenta faze din evoluția unui atractor matematic mai complex. Însă, pe termen mai scurt, impresia creată ar fi aceea că sistemul intră sau iese dintr-un regim haotic, aflându-se la marginea haosului. Sistemele cu o astfel de dinamică, frecvent întâlnite printre cele care se autoreglează (cum ar fi celulele, creierul, sistemele ecologice etc.), ar fi, după Kauffman (1993, în Combs, 1995), cele mai capabile să coordoneze sarcini complexe și să evolueze într-un mediu complex, pentru că ea le permite să treacă de la comportamente regulate (atractori ciclici sau fiși) la comportamente creative (dinamică haotică).

În interpretarea lui Skarda și Freeman (1987), tranziția de la starea de inconștiență la cea de veghe presupune o "bifurcare" prin care un atractor este înlocuit cu un repulsor, ceea ce ar însemna că încercările de a inhiba activitatea eșuează sau reușesc doar tranzient. În jurul acestui repulsor (care este ca o ridicătură centrală în spațiul fază), dinamica sistemului va prezenta un atractor haotic (care este ca o vale în jurul repulsorului), când activitatea se schimbă continuu, dar în cadrul unor limite fixate. Parametrul de control propus de cei doi autori menționați pentru această dinamică a stărilor de conștiință ar fi acela al gradului de interacțiune din cadrul sistemului dinamic neuronal. Freeman (1997) sugerează și că între conștiință (în engleză: "consciousness") și cunoștință (în engleză: "awareness") ar exista o distincție dintr-o perspectivă dinamică. Prima ar reprezenta o starea dinamică activă "de pregătire și de disponibilitate a trecutului", iar cea din urmă ar însemna o "comutare haotică a sensului" (Freeman, 1987).

Tsuda (1991) speculează în aceeași direcție, sugerând ideea că haosul este un fel de sine conștient, pentru că "ceea ce se poate simula pe

sine corect este întotdeauna haotic". El face, probabil, această afirmație, bazându-se pe presupunerea că ceea ce se simulează pe sine ar trebui să producă o structură de fractal, caracteristică unui atractor haotic (mai precis, unuia straniu). În plus, Tsuda (1991) este de părere că emergența atractorilor cu dimensiuni relativ reduse este o indicație a unei stări de conștiință. Conștiința ar fi definită, în opinia sa, ca un ansamblu de astfel de atractori care au o relație temporală între ei.

Și pentru Sleigh, Steyn-Ross și Steyn-Ross (1998), trecerea de la o stare conștientă la un inconștientă ar fi reprezentată ca o tranziție de fază, precizând, însă, că este posibilă urmărirea ei prin evoluția unui parametru de ordine. Ei sugerează că, după datele existente, un astfel de parametru de ordine pentru funcția corticală cerebrală ar putea fi potențialul somatic mediu, adică rata medie de descărcare a neuronilor și rata lor metabolică medie. Pentru că ele nu se pot măsura direct, autorii mai sus citați propun măsurarea lor indirectă, adică după cel mai apropiat parametru: valoarea primei derivate a EEG. În stare conștientă, acești parametri ar avea valori crescute, iar în una inconștientă, valori scăzute. Un parametru de ordine alternativ, propus de Sleigh et al. (1998), ar fi acela al dimensiunii corelaționale a EEG, pentru că, după cum arată o serie de studii, ea scade în trecerea de la starea de veghe la cea de somn (Babloyantz și Destexhe, 1986; Molnár și Skinner, 1992, în Molnár et al., 1995).

Alți parametri de ordine pentru a caracteriza stările de conștiință sunt sugerați de studiul realizat de Cleeremans și Jiménez (2002). Cei doi autori susțin impunerea anumitor condiții pentru ca o reprezentare să fie conștientă. Ei au identificat aceste condiții plecând de la o interpretare dinamică a reprezentărilor mintale. În viziunea lor, acestea, ca paternuri de activitate distribuită în rețelele neuronale, sunt gradate și variază pe mai multe dimensiuni, care includ puterea, stabilitatea în timp și distinctivitatea. *Gradualitatea* lor le distinge de reprezentările propoziționale, care ar fi de tipul tot sau nimic (adică discrete). O atare proprietate le-ar permite să exprime în mod natural gradul în care ceva la care se referă este, de fapt, prezent. *Stabilitatea* este în funcție de cât de mult poate fi menținută activă o reprezentare în cursul procesării. De exemplu, se presupune că în cortexul prefrontal există circuite specializate în formarea unor reprezentări cu stabilitate mare, necesare pentru a păstra active în memoria de scurtă durată informațiile necesare sarcinii. *Puterea* reprezentării se referă la numărul de unități de procesare implicate într-o reprezentare și cât de activate sunt ele. Ca o regulă generală, formulată de

Cleeremans şi Jiménez (2002), paternurile de activare puternice vor exercita o influenţă mai mare asupra proceselor în curs decât cele mai slabe. *Distinctivitatea* se referă la gradul de suprapunere care există între reprezentările unor instanţieri similare. Toate împreună definesc ceea ce autorii citaţi numesc "*calitatea reprezentării*". Un alt atribut al reprezentărilor mintale dinamice ar fi, după Cleeremans şi Jiménez (2002, *complexitatea*, pentru că ele sunt distribuite şi implică multe unităţi de procesare. Ultimele atribute menţionate ale acestora ar fi că sunt dinamice, active şi în mod constant eficiente cauzal, adică ele nu sunt statice, aşteptând să fie accesate de un proces, ci influenţează în mod constant procesările, indiferent de calitatea lor. Reprezentările slabe vor avea un efect asupra acestora prin amorsaj asociativ, în conjuncţie cu alte influenţe, în procese de satisfacere a constrângerilor. Cele puternice vor avea însă capacitate generativă, pentru că vor fi capabile să determine răspunsuri independent de acţiunea altor constrângeri, ori de câte ori stimulul lor preferat este prezent.

Ipotezele centrale ale lui Cleeremans şi Jiménez (2002) sunt că: 1) o anumită reprezentare este disponibilă în conştiinţă în funcţie de calitatea sa; 2) învăţarea înseamnă producerea de reprezentări de calitate şi cu adaptabilitate ridicată; 3) funcţia conştiinţei este aceea de a oferi controlul necesar asupra acelor reprezentări care sunt suficient de puternice să determine comportamentul, dar nu şi suficient de adaptate pentru ca influenţa lor să nu mai fie controlată. Ea nu este însă necesară pentru prelucrarea informaţiei, ci doar pentru controlul flexibil. Autorii menţionaţi presupun că, deopotrivă, reprezentările slabe şi tari sunt greu de controlat şi că un control maxim se obţine doar asupra celor care sunt suficient de puternice să influenţeze comportamentul semnificativ şi independent, dar nu şi pentru a deveni dominante în procesare. Deşi procesul este gândit ca fiind continuu, cei doi autori disting, totuşi, etape în procesul de formare a reprezentărilor interne. Prin urmare, ar exista reprezentări implicite (slabe, de calitate redusă), explicite şi automate. Reprezentările implicite nu sunt controlate, pentru că este imposibil să fie distinse, în primul rând, şi, apoi, pentru că nu sunt capabile să declanşeze, ele singure, un răspuns. Reprezentările explicite sunt cele care sunt controlabile, corespunzând, în terminologia reţelelor dinamice, stadiului în care atractorii încep să se distingă în mod clar, fiind mai adânci, largi, separaţi. Atât ele, cât şi efectul lor asupra comportamentului sunt conştientizate. În concepţia lui Cleeremans şi Jiménez (2002), repre-

zentările explicite permit recodarea în diverse alte moduri, cum ar fi propozițiile lingvistice. Reprezentările automate sunt descrise ca fiind cele mai puternice, acțiunea lor asupra comportamentului neputând fi inhibată, controlată. Totuși, ele sunt conștientizate, la fel ca și rezultatul lor la nivelul comportamentului. După cum arată Cleeremans și Jiménez (2002), există, însă, și reprezentări conștiente care rămân implicite. E vorba de situația când ele nu pot fi integrate și coerentizate cu alte reprezentări conștiente, astfel încât nu va fi posibil ca ele să fie relatate și să controleze comportamentul. Pe de altă parte, se arată că o reprezentare conștientă este implicită și când este foarte puternică, fiind capabilă să declanșeze și să controleze comportamentul, fără o intenție și o monitorizare conștientă.

Parametrii de ordine sugerați de studiul lui Cleeremans și Jiménez (2002) ca fiind utili descrierii stărilor de conștiință ar fi stabilitatea, puterea și distinctivitatea reprezentărilor mintale. Cele trei proprietăți ar defini și un alt parametru de ordine, unul sintetic: calitatea reprezentării. Se constată, însă, că ideea de control al reprezentărilor explicite de către conștiință este una ambiguă. Pe de o parte, un astfel de control ar fi echivalent cu funcția atribuită atenției în secțiunea anterioară, de control al dinamicii mintale prin care se produce stabilizarea reprezentărilor. Pe de altă parte, s-ar deduce din descrierea autorilor citați că, pentru ei, controlul conștiinței oferă posibilitatea de integrare a reprezentărilor mintale și de modulare a efectelor lor la nivel comportamental. Sursa sa pare a fi plasată la nivelul unei instanțe externe reprezentărilor. O alternativă care se întrevede ar fi aceea că, prin chiar calitățile lor (stabilitatea medie, mai ales), reprezentările ar fi mai greu sau mai ușor controlabile de către alte reprezentări care au o putere mai mare ca ele sau că ele se pot controla și organiza reciproc mai ușor. În acest mod, nu ar mai fi nevoie de presupunerea unei instanțe separate, externe, a conștiinței, care să controleze reprezentările.

Față de autorii menționați anterior, Bielecki, Kokoszka și Holas (2000) propun un model dinamic al conștiinței mai elaborat, având și o formulare matematică, în care identifică posibilele dinamici componente ale conștiinței. Ei se bazează pe observația că stările de conștiință se află în flux continuu, ceea ce le-ar permite să îl descrie printr-o ecuație diferențială pe un spațiu X: $dx/dt = f(x,t)$. Comportamentul soluțiilor acestei ecuații îl analizează apoi cu instrumentele TSDN. Aplicația f ar avea, în concepția lor, următoarele componente. O componentă, f_1, se referă

la activitatea fiziologică a creierului şi la metabolismul acestuia, includ-zând şi ritmurile biologice: $dx/dt = f_1 (x,t)$. Ea ar corespunde dinamicii fluxului stărilor de conştiinţă prezente la sugari sau la persoanele care au un cortex nefuncţional. O a doua componentă, f_2, descrie dinamica care ar deriva din structura psihicului (id, ego, superego), ea determinând reacţia mintală la un input, ca traiectorie în spaţiul stărilor de conştiinţă. Potrivit autorilor mai sus citaţi, această componentă are un caracter de tip gradient: $dx/dt = -grad\ V(X,t)$. A treia componentă, f_3, indică energia mintală cu ajutorul căreia o persoană îşi poate controla propriile reacţii într-o anumită măsură, mai precis dinamica acestei energii. Ea ar permite dirijarea mişcării pe o suprafaţă de potenţial, dar posibilităţile de control vor depinde şi de forma funcţiei de potenţial V(X). De aceea, Bielecki et al. (2000) consideră că această componentă are caracterul unei funcţii divergente: $f3(x,t) = f_3(x,divF(x,t), t)$, unde F e un câmp vectorial pe X x R (R fiind mulţimea numerelor reale). A patra componentă, f_4, ar fi asociată semnalului extern şi ar avea două subcomponente, una a semnalelor periodice şi alta a celor accidentale. Cele patru componente sunt integrate în următoarea ecuaţie: $dx/dt = f_1(x,t) - gradV(x,t) + f_3(x,divF(x,t),t) + f_4(x,t)$. Bielecki et al. (2000) presupun că această lege dinamică a schimbării stărilor de conştiinţă se schimbă gradual pe termen lung, datorită dezvoltării psihice prin maturare şi datorită învăţării, care ar modifica potenţialul V (adică relieful topologic al spaţiului stare).

Se conchide că, în viziune dinamică, fenomenul conştiinţei este privit ca o proprietate emergentă în urma autoorganzării unui sistem dinamic complex cu dimensionalitate ridicată şi cu mai multe niveluri de organizare, care cuprinde ca şi componente subsisteme psihice. Ca proprietăţi emergente, stările de conştiinţă sunt descrise prin intermediul unor parametri de ordine care definesc regimul dinamic în care se află sistemul care le-a generat. Acest regim dinamic poate fi schimbat în mod brusc de către anumiţi parametri de control, atunci când ei ating anumite valori critice. Dinamica reprezentărilor mintale va fi cuplată cu dinamica de la nivelul conştiinţei, ele influenţându-se reciproc.

BCU IAŞI

Concluzii

Inițierea oricărui demers care își propune să ofere o interpretare prin prisma conceptelor TSDN a unui proces cognitiv pornește de la un argument principal, menit să-i justifice necesitatea: orice comportament cognitiv, indiferent de nivelul său, se desfășoară în timp, se schimbă în timp. Prin urmare, este nevoie de modele care să explice această schimbare și rolul său în apariția unor fenomene cognitive, nu doar să o descrie. De aceea, un model ar trebui să se numească dinamic numai dacă, în cadrul său, timpul este considerat ca o variabilă independentă, explicativă, și dacă, în interpretările pe care le propune, evidențiază natura definitorie a dinamicii pentru un fenomen. Prin urmare, ceea ce este nou și semnificativ în cadrul unei abordări dinamice a proceselor cognitive de nivel superior este că dinamismul intrinsec al sistemului cognitiv este văzut ca esențial pentru funcția sa, ea nefiind realizabilă decât prin intermediul lui. Chiar dacă și înainte se admitea că sistemele cognitive suferă schimbări în timp, în forma dezvoltării sau deteriorării funcționalității lor, modelele dinamice aduc o schimbare de optică. Ele plasează cauza principală a schimbării la nivelul unei dinamici interne și redefinesc rolul factorilor externi. Acesta este văzut ca fiind acela de a schimba forma dinamicii intrinseci (de a o "in-forma") în limitele date de legea ei. Prin urmare, factorii externi vor fi capabili să influențeze comportamentul unui sistem cognitiv doar prin intermediul dinamicii sale interne. În aceste condiții, apare posibilitatea ca un input nespecific, cum ar fi, de exemplu, zgomotul, să aibă efecte organizatoare.

La modul cel mai sintetic, se poate spune că, într-un model dinamic al cogniției de nivel superior, găsirea structurilor invariante nu se mai bazează pe un proces static de comparație, de punere în corespondență, ca în modelele computaționale de tip simbolist, ci are ca suport procesele dinamice de iterație și de cuplare. La fel, simbolizarea (în măsura în care este considerată utilă păstrarea sa) nu are un caracter static, de asignare, de atribuire, ci este realizată prin stabilizarea unor procese dinamice și prin cuplare dinamică. Controlul cognitiv din partea unor instanțe separate nu mai este necesar, existând posibilitatea de a fi exercitat de la un nivel emergent, cu sursa în interacțiunea reciprocă a sistemelor cognitive.

Sunt de evidențiat și câteva dintre principalele avantajele explicative pe care la au abordările de tip dinamic și care pledează în favoarea utilizării lor. Față de majoritatea abordărilor tradiționale, ele sunt capabile să modeleze, în mod natural, acele fenomene cognitive în cadrul cărora intervin interacțiuni, în care se generează proprietăți emergente, în care apar schimbări continue și/sau neliniare. În plus, există argumente teoretice și empirice că ele permit modelarea deopotrivă a schimbărilor cantitative și calitative, a celor continue și discrete din cadrul sistemului cognitiv. Un alt avantaj ar fi acela că, la nivelul unei explicații dinamice, este posibil ca schimbarea unui element observabil fie justificată și altfel decât prin schimbarea unui alt element care ar fi, în principiu, observabil. Mai precis, justificarea se va face prin intermediul modificării stabilității unor atractori într-un spațiu virtual, adică prin schimbări "tăcute". Uneori, o abordare dinamică pare că oferă doar o reformulare în termenii TSDN pentru explicații vechi ale unor fenomene cognitive. Totuși, ea ar fi de preferat pentru că, față de acestea, ar putea furniza, în viitor, și alte explicații, mai ales cu privire la aspectele temporale ale fenomenului investigat, ceea ce ar favoriza integrarea teoretică în cadrul domeniului cercetat. În plus, prin caracterul interdisciplinar al noțiunilor TSDN, se oferă și posibilitatea unei punți de legătură cu alte domenii în care apar fenomene dinamice similare. Dat fiind că există tendința, la ora actuală, să se admită că procesele de la nivel cerebral și cele de la nivel social au o natură dinamică, un model dinamic al cogniției ar fi mai ușor conectat cu teoriile neurofiziologice și cu cele sociale. În acest fel, el va fi și mai ecologic. Din punct de vedere metodologic, el va permite analiza seriilor temporale obținute prin înregistrarea evoluției unor comportamente în timp. De asemenea, modelele dinamice ar putea explica frecventa situație în care rezultatele obținute în cadrul unor studii asupra unui același fenomen investigat sunt mixte, neconclusive, nici regulate, nici neregulate. Ar fi posibil acest lucru prin presupunerea că astfel de date sunt expresia unui comportament neliniar haotic al acelui fenomen. Principiile TSDN introduc în studiu tipuri noi de variabile independente (de exemplu, chiar timpul) și realizează, în cadrul acestora, noi distincții (cum ar fi aceea dintre variabilă dinamică și parametru de control). TSDN a sugerat și noi tipuri de tehnici și design-uri experimentale, cum ar fi, de exemplu, paradigma mouse-ului sau sarcina producției din studiile lui Gilden (2001).

Contribuțiile diverșilor autori care au propus interpretări dinamice ale proceselor cognitive superioare se încadrează în două mari categorii. Unele se limitează la enunțarea unor principii și sugestii cu caracter ipotetic, altele își propun și validarea lor empirică pe doi căi: experimentală sau prin simulări în sisteme artificiale. În stadiul actual, datorită limitelor de ordin metodologic, majoritatea covârșitoare sunt din prima categorie, urmând apoi cele care își au sursa în realizările din domeniul inteligenței artificiale. Investigațiile empirice pe subiecți umani sunt extrem de puține. În cadrul studiilor predomină cele care specifică parametrii de control ai unor dinamici mintale, apoi cele care identifică variabilele unui sistem dinamic. O precizare cantitativă a legii dinamice a vreunui sistem mintal nu se găsește în nici un studiu și doar câteva cercetări o exprimă la modul general, identificând tipul funcțiilor implicate. În plus, explicațiile privind modul de inducere a unei dinamici pe un spațiu stare sunt, în marea lor majoritate, extrem de evazive.

Prin urmare, s-ar putea conchide că modelarea dinamică propriu-zisă a proceselor cognitive superioare, în adevăratul sens al cuvântului, se găsește încă într-o stare incipientă. Totuși, există câteva studii ingenioase care indică potențialul TSDN în această privință, posibilitatea de a se face progrese în direcția rigurozității, mai ales prin crearea de metode de investigare în cadrul psihologiei cognitive care să fie adecvate principiilor teoretice ale TSDN. În acest fel, dincolo de atractivitatea teoretică și de explicațiile date la nivel intuitiv unor fenomene observate sau unor date experimentale obținute în cadrul altor paradigme teoretice, o abordare dinamică va reuși să câștige mai mult teren și din punctul de vedere al validării sale empirice.

BCU IASI/CENTRU

Bibliografie

Abirc, J-C. (1995). Reprezentari sociale: Aspecte teoretice. În A. Neculau (Ed.), *Reprezentari Sociale. Psihologia Câmpului Social* (p. 127-155). Bucuresti: Societatea de Ştiinţă si Tehnică, traducere după J-C. Abric, Les représentations sociales: aspects théoriques, apărut în J-C. Abric (Ed.), Pratiques sociales et representations (p. 11-36), Paris: PUF, 1994.

Abraham, F. (1991). Erodynamics and cognitive maps. În E. Laszlo, şi I. Masulli (Ed.), *The evolution of cognitive maps: New paradigms for the twenty-first century* (p. 255-264). USA: Gordon and Breach.

Abraham, F. (1996). Chaos, Bifurcations & Self-Organization: Dynamical Extensions of Neurological Positivism and Ecological Psychology, *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Abraham, F. D. (1998). Sophia: The courage to become wise. *Convergence*, 4, p. 6-8.

Alligood, K. T., Sander, E., Yorke, J.A (2004). *A Three-Dimensional Crisis: Crossing Bifurcations and Unstable Dimension Variability*. Site vizitat la adresa http://math.gmu.edu/~sander/research/threed/submit4-13.pdf, la data de 09.08.2004.

Ambadar, Z., Schooler, J. W., Cohn, J. F. (2005). Deciphering the Enigmatic Face: The Importance of facial dynamics in interpreting subtle facial expressions. *Psychological Science*, 16, p. 403-410.

Amit, D. J., Fusi, S., Yakovlev, V. (1997). Paradigmatic Working Memory (Attractor) Cell in IT Cortex. *Neural Computation*, 9, p. 1071-1092.

Amit, Y., Mascaro, M. (1999). *Attractor networks for shape recognition*. Raport tehnic nr. 495, Departamentul de Statistică, Universitatea din Chicago, pe site-ul vizitat la adresa: http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/11996/http:zSzzSzgalton.uchicago.edu zSz~amitzSzPaperszSzattractor.pdf/amit99attractor.pdf, la data de 09.04.2003.

Anderson, M. L. (2003). Embodied Cognition: A field guide. *Artificial Intelligence*, 149, p. 91-130.

Angell, J. R. (1907). The Province of Functional Psychology. *Psychological Review*, 14, p. 61-91, lucrare reprodusă pe site-ul aflat la adresa: http://psychclassics.yorku.ca/Angell/functional.htm, vizitat la data 23.05.2004.

Anishchenko, V. S., Strelkova, G. I. (1998). Discrete Dynamics. *Nature and Society*, 2, p. 53 – 72.

Arbib, M. A. (1995). Background. În M. A. Arbib (Ed.), *The handbook of brain behaviour and neural networks* (p. 1-3). Cambridge MA: The MIT Press.

Arnellos, A., Spyrou, T., Darzentas, J. (2006). Dynamic Interactions in Artificial Environments: Causal and Non-Causal Aspects for the Emergence of Meaning. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 3, p. 82-89.

Babloyantz, A (1987). Chaotic dynamics in brain activity. Open Peer Commentary. *Behavioral and Brain Sciences*, 10, p. 174-174 .

Babloyantz, A., Destexhe, A. (1986). Low–dimensional chaos in an instance of epilepsy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 83, p. 3513–3517.

Banaji, M. (2005). *Dynamical systems and chaos, MATH3509. Lecture Notes*. Site vizitat la adresa http://www.medphys.ucl.ac.uk/~mbanaji/dynsys/cnotes.pdf, la data de 10.11.2005.

Banerjee, A. (2001). The roles played by external input and synaptic modulations in the dynamics of neuronal systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, p. 811-812.

Banerjee, S. (n. d.). *Dynamics of Physical Systems. Dynamics in the state space*. Site vizitat la adresa http://www.ee.iitkgp.ernet.in/~soumitro/dops/chap8.pdf, la data 04.08.2004.

Barham, J. (1996). A dynamical model of the meaning of information. *BioSystems*, 38, p. 235-241.

Baron, R. M., Amazeen, P. G., Beek, P. J. (1994). Local and Global Dynamics of Social Relations. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 111-138). San Diego: Academic Press.

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, p. 577-609.

Bates, E. A., Elman, J. L. (2002). Connectionism and the study of change. In Mark Johnson (Ed.), *Brain development and cognition: A reader (2nd ed.)* (p. 623-642). Oxford: Blackwell Publishers.

Bax, J. (2002). *Dynamical Systems and the Metaphysics of Substance and Accident*. Site vizitat la adresa http://metafysica.nl/dynamical_systems.html, la data de 04.08.2004.

Bechtel, W., Abrahamsen, A. (2006). Phenomena and mechanisms: Putting the symbolic, connectionist, and dynamical systems debate in broader perspective. În Stainton R. (Ed.), *Contemporary debates in cognitive science* (p. 159-185). Oxford: Basil Blackwell.

Becker, M. (2003). *Some Julia sets*. Site vizitat la http://www.ijon.de/mathe/julia/some_julia_sets_1_en.html, la data de 09.11.2004.

Beer, R. D. (2000). Dynamical approaches to cognitive science. *Trends in Cognitive sciences*, 4, p. 91-98.

Beltz, B. C., Kello, C. T., (2006). On the Intrinsic Fluctuations of Human Behavior. M. Vanchevsky (Ed.), *Focus on Cognitive Psychology Research* (p. 25-41). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.

Berkolaiko, G. (1999). Dynamics of piecewise linear interval maps with hysteresis,. *Dynamics and Stability of Systems*, 14, p. 57-70.

Bertenthal, B. I. (2007). Dynamical Systems: It's about Time. În S. M. Boker şi M. J. Wenger (Ed.), *Data Analytic Techniques for Dynamical Systems* (p. 1-22). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Bettelheim, E. (2000). *Definition of the Model and Mean Field Description.* Site vizitat la adresa http://racah.fiz.huji.ac.il/~eldadb/masters/node8.html, la data de 10.07.2001.

Bickhard, M. H. (1996). Troubles with Computationalism. În W. O'Donohue şi R. F. Kitchener (Ed.), *The Philosophy of Psychology* (p. 173-183), Londra: Sage.

Bickhard, M. H. (2000). *These are some answers to questions concerning the Interactive Model that were posed on the Interactivist Forum in Fall.* Site vizitat la adresa http://www.lehigh.edu/~interact/whatisinteractivism.html, la data de 12.12.2004.

Bielecki A., Kokoszka A., Holas P. (2000). Dynamic systems theory approach to consciousness. *International Journal of Neuroscience*, 104, p. 29-47.

Billig, M. (1991). *Ideology and Opinions: Studies in Rhetorical Psychology.* Londra: Sage.

Bosse, T., Jonker, C.M., Treur, J. (2005). Reasoning by Assumption: Formalisation and Analysis of Human Reasoning Traces. În J. Mira şi J. R. Alvarez (Ed.), *Proceedings of the First International Work-conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation, IWINAC 2005. Lecture Notes in Artificial Intelligence* (p. 427-436).

Boutot, A. (1997). *Inventarea formelor*, Bucureşti: Nemira, traducere din limba franceză de Florin Munteanu după Alain Boutot, L'invention des Formes, Éditions Odile Jacob, 1993.

Boynton, R. M. (1987). Spatial analysis of brain function: Not the first. Open Peer Commentary. *Behavioral and Brain Sciences*, 10, p. 175-175.

Bradley, R. L. (2006). *Strange Attractors.* Site vizitat la adresa http://www.pha.jhu.edu/~ldb/seminar/attractors.html, la data de 12.03.2006.

Breakspear, M. (2004). "Dynamic" Connectivity in Neural Systems Theoretical and Empirical Considerations. *Neuroinformatics*, 4, p. 205–226.

Bressler, S. L. and J. A. Scott Kelso, J. A. S. (2001). Cortical coordination dynamics and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, p. 26-36.

Brinsjord, S., Zenzen, M. (1996). Cognition is not Computation: The Argument from Irreversibility. pe site-ul vizitat la adresa: http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/1140/http:zSzzSzwww.rpi.eduzSz~bringszSzSEI.PAPzSzir.pdf/bringsjord96cognition.pdf, la data de 09.10.2004.

Brooks, R. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47, p. 139-159.

Browne, A., Sun, R. (2001). Connectionist inference models. *Neural Networks*, 14, p. 1331-1355.

Bucciarelli, M., Johnson-Laird, P. N. (1999). Strategies in syllogistic reasoning. *Cognitive Science*, 23, p. 247-303.

Burlingame, G. M., Bloch, G. J., (1996). Complexity Theory: A New Direction for Psychoneuroimmunology? *Advances: The Journal of Mind -- Body Health*, 12, p.16-21.

Butterworth, G. (1993). Dynamic approaches to infant perception and action: Old and new theories about the origins of knowledge. În L. B. Smith şi E. Thelen (Ed), *A*

dynamic systems approach to development: Applications (p. 171–87). Cambridge, MA: MIT Press.

Camazine, S. (2002). Self-organizing systems. În R. A. Wilson şi F. C. Keil (Ed.), *Encyclopedia of Cognitive Sciences* (p. 1108–1115). Londra: Nature Publishing Group.

Carpenter, P. (2003). *Mind/brain relations and multiple intelligences.* Lucrare pentru simpozionul AERA din Chicago, 2003, prezentată pe site-ul vizitat la adresa http://www.tc.umn.edu/~athe0007/BNEsig/papers/MindBrainRelations.pdf, la data de 03.08.2004.

Chaos Theory (n. d.). În *Wikipedia, The Free Encyclopedia,* website vizitat la 03.07.2004 la adresa http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory

Chemero, A. (2001). Dynamical Explanation and Mental Representation. *Trends in Cognitive Science*, 5, p. 140-141.

Cinqiun, P., Cosnard, M., Demongeot, J., Jacob, C. (1987). Attracteurs et confineurs. În M. Cosnard (Ed.), *Traitement numérique des attracteurs étranges* (p. 243-259). Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.

Clark, A. (1997). The Dynamical Challange. *Cognitice Science*, 21, p.461–481.

Clayton, K., Frey, B. (1995). *A Nonlinear Dynamics Approach to Studying Short-Term Memory.* Site vizitat la adresa http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/clayton/papers/MPA95/MPA95.html, la data de 13.04.2000.

Clayton, K. (1997). *Basic Concepts in Nonlinear Dynamics and Chaos.* Site vizitat la adresa http://www.societyforchaostheory.org/chaosprimer.pdf, la data de 4.07.2000.

Cleeremans, A., Jiménez, L. (2002). Implicit learning and consciousness: A graded, dynamic perspective. În R. M. French şi A. Cleeremans (Ed.), *Implicit learning and consciousness: An empirical, computational and philosophical consensus in the making* (p. 1-40). Hove, UK: Psychology Press.

Codreanu, S. (2007). *Introducere în teoria haosului determinist.* Cluj-Napoca: Casa Cărţii de Ştiinţă.

Combs, A. (1995). Consciousness Chaotic and Strangely Attractive. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Cosmelli, D. Lachaux, J-P., Thompson, E. (2007). Neurodynamics of consciousness. În P.D. Zelazo, M. Moscovitch şi E. Thompson (Ed), *Cambridge Handbook of Consciousness* (p. 731-775). Cambridge: Cambridge University Press.

Cosnard, M., Lausberg, C. (1897). Quatre définitions de la dimension fractale d'un attracteur: algorithms de calcul. În M. Cosnard (Ed.), *Traitement numérique des attracteurs étranges* (p. 143-161). Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.

Courcy, P. (n.d.). *Fractales.* Site vizitat la adresa http://fractales.free.fr/eau_air/water.htm#, la data de 13.02.2006.

Courville, A. C., Touretzky, D. S. (2002). Modeling Temporal Structure in Classical Conditioning. În T. G. Dietterich, S. Becker şi Z. Ghahramani (Ed.), *Advances in Neural information processings systems* (p. 3-10). NIPS 14. Cambridge MA: MIT Press.

Dale, R., Spivey, M. (2005). From apples and oranges to symbolic dynamics: a framework for conciliating notions of cognitive representation. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 17, p.317-342.

Damper, R. I. (2000). Emergence and levels of description. *International Journal of Systems Science*, 31, p. 811-818.

Dartnell, L. (2006). *Runge-Kutta and the Lorenz Attractor*. Site vizitat la adresa http://www.ucl.ac.uk/~ucbplrd/Lorenz/Lorenz_page.htm, la data de 12.03.2006.

Daw, C.S., Finney, C.E.A., Tracy, E.R. (2002). *A review of symbolic analysis of experimental data*, vizitat la adresa http://www-chaos.engr.utk.edu/pap/crg-rsi2002.pdf, la data de 13.07.2005.

De Bot, K., Verspoor, M., Lowie, W. (2007). A Dynamic Systems Theory Approach to Second Language Acquisition. *Bilingualism: Language and Cognition*, 10, p. 721.

Debaise, D. (2004). Langage de l'individuation. *Multitudes*, 18, revistă on-line, la adresa: http://multitudes.samizdat.net/rubrique.php3?id_rubrique=500

Delacour, J. (2001). *Introducere în neuroştiinţele cognitive*. Iaşi: Polirom. Traducere după J. Delacour, "Une introduction aux neurosciences cognitive, De Boeck & Larcier, 1998.

Delignières, D. Torre, K., Lemoine, L. (2005). Methodological issues in the application of monofractal analyses in psychological and behavioral research. *Nonlinear Dynamics in Psychology and Life Sciences*, 9, p 435-461.

Delignières, D., Fortes, M., Ninot, G. (2004). The fractal dynamics of self-esteem and physical self. *Nonlinear Dynamics in Psychology and Life Science, 8*, p. 479-510.

Dietrich (1999). Dynamic systems and paradise regained or how to avoid being a calculator. *Journal of Experimental and. Theoretical. Artificial Intelligence*, 11(4), p. 473-478.

Dimitrov, V. (1997). *Key Notions and Concepts in the Paradigm of Complexity*. Site vizitat la adresa http://www.zulenet.com/VladimirDimitrov/pages/notions.html, la data de 09.10.2003.

Dimitrov, V. (2000). *Strange Attractors of Meaning*. Site vizitat la adresa http://www.zulenet.com/VladimirDimitrov/pages/SAM.html, la data de 09.09.2001.

Doerner, R. H. (2005). *The Henon map*. Site vizitat la adresa http://www.robert-doerner.de/en/Henon_system/henon_system.html, la data de 08.11.2005.

Duch, W. (1996). Computational physics of the mind. *Computer Physics Communication*, 97, p.136-153.

Dynamical Systems (n.d.). În *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, website vizitat la 03.07.2004 la adresa http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamical_system

Ebeling, W. (1989). *Chaos, Ordnung und Information*. Leipzig: Urania-Verlag.

Eiser, J. R. (1994). Toward a Dynamic Conception of Attitude Consistency and Change. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 198-218). San Diego: Academic Press.

Eliasmith, C. (1996). The third contender: A critical examination of the dynamicist theory of cognition. *Journal of Philosophical Psychology*, 9, p. 441-463.

Eliasmith, C. (2005). A unified approach to building and controlling spiking attractor networks. *Neural Computation*, 17, p. 1276-1314.

Eliasmith, C. (2007). Attractor network. *Scholarpedia*, 2(10):1380, http://www.scholarpedia.org/article/Attractor_network

Elman, J. L. (1991). Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure. *Machine Learning*, 7, p. 195-224.

Elman, J. L. (1995). Language as a dynamical system. În R. Port şi T. van Gelder (Ed.), *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition* (p. 195-225). Cambridge MA: MIT Press.

Elman, J. L. (1998). Connectionism, artificial life, and dynamical systems: New approaches to old questions. În W. Bechtel şi G. Graham (Ed.), *A Companion to Cognitive Science* (p. 488-506). Oxford: Basil Blackwood.

Elman, J.L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, p. 179-211.

Engelfriet, J., Treur, J., (1995). Temporal Theories of Reasoning. *Journal of Applied Non-Classical Logics*, 5, p. 239-261.

Faiciuc, L. (1998). Un posibil model de interacţiune a factorilor implicaţi în apariţia fenomenului intuiţiei. În *Studii şi cercetări din domeniul ştiinţelor socio-umane* (p. 51-66). Cluj-Napoca: Editura Argonaut.

Faiciuc, L. (2001). Implicaţii metodologice ale abordării dinamice în psihologie, în *Studii şi cercetări din domeniul ştiinţelor socio-umane* (p. 47-59). Cluj-Napoca: Editura Argonaut,.

Faiciuc, L. (2008). Are there Reasons to Challenge a Symbolic Computationalist Approach in Explaining Deductive Reasoning? *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 42, p. 212-218.

Fauconnier, G., Turner, M. (1998). Conceptual integration networks. *Cognitive Science*, 22, p. 133-187.

Feltl, H. (1996). *Bifurkationen*. Site vizitat la adresa: http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vis/seminar9596/3-bif/html/index.html#top, la data dè 25.10.2000

Ferber, R. (1996). Cognitive Dynamics - Dynamic Cognition? În W. Förg-Rob, D. Gronau, C. Mira, N. Nezter şi G. Targonsky (Ed.), *Iteration Theory, Proceedings of the European Conference* (p. 65-76). Singapore: World Scientific.

Fernandez, J., Moreno, A., Etxeberria, A. (1991). Life as emergence: the roots of a new paradigm in theoretical biology. *World Futures*, 32, p. 133-149.

Finke, R. A., Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, p. 780-794.

Flament, C. (1995). Structura, dinamica şi transformarea reprezentărilor sociale. În A. Neculau (Ed.), *Reprezentari Sociale. Psihologia Câmpului Social* (p. 155-167).

București: Societatea de Știinta și Tehnică, traducere după C. Flament, Structure, dynamique et transformation des représentations socials, apărut în J-C. Abric (Ed.), Pratiques sociales et representations (p. 37-58). Paris: PUF, 1994.

Flay, B. R. (1978). Catastrophe theory in social psychology: some applications to attitudes and social behavior. *Behavioral Science*, 23, p. 335-350.

Flint, G. A. (1996). A Chaos Model of the Brain Applied to EMDR. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Földiák, P. (1991). Learning invariance from transformation sequences, *Neural Computation*, 3, p. 194-200.

Freeman, W. J. (1987). Simulation of Chaotic EEG Patterns with a Dynamic Model of the Olfactory System. *Biological Cybernetics*, 56, p.139-150.

Freeman, W. J., Skarda, C.A. (1990). Representations: Who needs them? În J. L. McGaugh, N. M. Weinberger și G. Lynch (Ed.), *Third Conference, Brain Organization and Memory: Cells, Systems and Circuits* (p. 375-380). New York, Oxford: Guilford Press.

Freeman, W. J. (1997). Nonlinear Neurodynamics Of Intentionality. *Journal of Mind and Behavior*, 18, p. 291-304.

French, R. M, Thomas, E. (1998). The Dynamical Hypothesis: One Battle Behind. *The Behavior and Brain Sciences*, 21, p. 640-641.

French, R. M., Thomas, E. (2001).The Dynamical Hypothesis in Cognitive Science: A Review Essay of Mind As Motion. *Minds and Machines*, 11, p. 101-111.

Freyd, J. J. (1983). Representing the dynamics of a static form. *Memory & Cognition*, 11, p. 342-346.

Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representations. *Psychological Review*, 94, p. 427-438.

Freyd, J. J., Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, p. 126-132.

Gärdenfors, P. (1994). How logic emerges from the dynamics of information. În J. van Eijck și A. Visser (Ed), *Logic and Information Flow* (p. 49-77), Cambridge, MA: MIT Press.

Garfinkel, A. (1987). The virtues of chaos. *Behavioral and Brain Sciences*, 10, p. 178-179.

Gergen, K. J. (1994). *Toward Transformation in Social Knowledge*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Gheorghiu, C. I. (2004). *Metode Numerice pentru Sisteme Dinamice*, Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință.

Gilden, D. L. (2001). Cognitive emissions of 1/f noise. *Psychological Review*, 108(1), p. 33-56.

Gilden, D. L., Thornton, T., Mallon, M.W. (1995). 1/f noise in human cognition. *Science*, 267, p. 1837-1839.

Giunti, M. (1995). Dynamical models of cognition. În R. Port și T. van Gelder (Ed.), *Mind as motion: Explorations in the dynamics of cognition* (p. 549-571). Cambridge MA: The MIT Press.

Goertzel, B. (1993a). *The Evolving Mind*. USA: Gordon and Breach.

Goertzel, B. (1993b). *The Structure of Intelligence. A New Mathematical Model of Mind*. New York, NY: Springer-Verlag.

Goertzel, B. (1996). Chance and Consciousness. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Goertzel, B. (1998). Delay Vectors as Perceptual Chunks: Understanding Nonlinear Time Series Analysis as Self-Organizing Cognition, *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Goertzel, B. (2002). Stephen Wolfram's *A New Kind of Science*. A Complexity Scientist's Reaction. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Goldberger, A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *Lancet*, 347, p. 1312-1314.

Gonzales, M. E. Q., Broens, M. C., Del-Masso, M. C. (n. d.). *Memory And Self-Organization*. Site vizitat la adresa: http://www.marilia.unesp.br/atividades/extensao/revista/v1/ardoc5.html, la data de 23.01.2006

Granic, I., Hollenstein, T., Dishion, T. J., Patterson, G. R. (2003). Longitudinal Analysis of Flexibility and Reorganization in Early Adolescence: A Dynamic Systems Study of Family Interactions. *Developmental Psychology*, 39, p. 606-617.

Grassberger, P. (1987). Information flow and dimension of strange attractors. În M. Cosnard (Ed.), *Traitement numérique des attracteurs étranges* (p. 161-177), Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.

Green, D. G. (1993). Cellular automata. Tutorial Notes. Site vizitat la http://parallel.hpc.unsw.edu.au/complex/tutorials/tutorial1.html, în data de 10.10.1999.

Guerin, S. , Kunkle, D. (2004). Emergence of Constraint in Self-organizing Systems. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 8, p. 131-146.

Haken, H. (1995a). An Application of Synergetics. Decision Making as Pattern Recognition, *Zeitschrift für Wissenschaftsforschung*, 9/10, p. 45-72.

Haken, H. (1995b). Cooperative Phenomena. În M. A. Arbib (Ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (p. 261-266). Cambridge, MA: The MIT Press.

Haken, H. (2003a). Foreword. În W. Tschacher și J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. vii-viii). New Jersey: World Scientific.

Haken, H. (2003b). Intelligent Behavior: A Synergetic View. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 3-17). New Jersey: World Scientific. New Jersey: World Scientific.

Haken, H. (2004). Future Trends in Synergetics. *Solid State Phenomena*, 97-98, p. 3-10.

Haken, H., Wunderlin, A. (1988). Synergetics - Processes of self-Organization in Complex Systems. În M.E. Carvallo (Ed.), *Nature, Cognition and System I*, (p. 279-290). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Hardy, C. (1998). Semantic Fields and mental processes. *European Meeting of the Society for Scientific Exploration*, Valencia, Spania, 1998.

Haselager, W. F. G., Bongers, R. M., van Rooij, I. (2003). Cognitive Science, Representations and Dynamical Systems Theory. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 229-241). New Jersey: World Scientific.

Hashimoto, T., Masumi, A. (2005). Learning and transition of symbols in chaotic dynamical system: toward dynamical model of symbolic individual. *The Proceedings of 2nd. International Symposium on Emergence and Evolution of Linguistic Communication*, 12-15 aprilie, 2005, (p. 41-49), University of Hertfordshire, Hatfield UK.

Hayes, A.E., Freyd, J. J. (2002). Representational momentum when attention is divided. *Visual Cognition*, 9, p. 8-27.

Heath, R. A. (2000). *Nonlinear Dynamics: Techniques and Applications in Psychology*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Heylighen F. (1991). Modelling Emergence. *World Futures: the Journal of General Evolution*, 31, p. 89-104.

Heylighen, F., Joslyn, C. (2001). Cybernetics and Second-Order Cybernetics. În R.A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science & Technology* (a 3-a ed.) (p. 1-24). New York: Academic Press.

Ho, A. (1995). *Chaos Introduction*. Site vizitat la adresa http://www.zeuscat.com/andrew/chaos/chaos.html, la data de 10.10.2001

Hofstadter, D. R. (1996). *Fluid Concepts and Creative Analogies: computer models of the fundamental mechanisms of thought*. New York: Basic Books.

Holbrook, M. B. (2003). Adventures in Complexity: An Essay on Dynamic Open Complex Adaptive Systems, Butterfly Effects, Self-Organizing Order, Coevolution, the Ecological Perspective, Fitness Landscapes, Market Spaces, Emergent Beauty at the Edge of Chaos, and All That Jazz. *Academy of Marketing Science Review*, 6, jurnal online la adresa: http://www.amsreview.org/articles/holbrook06-2003.pdf

Hooker, C. A. (1996). Towards a naturalized cognitive science: a framework of cooperation between philosophy and the natural sciences of intelligent systems. În W. O'Donohue şi R. F. Kitchner (Ed.), *The philosophy of psychology* (p. 184-206). London: Sage.

Hopkins, B., Butterwoth, G. (1997). Dynamical system approaches to the development of action. În J. G. Bremner, A. Slater şi G. Butterworth (Ed.), *Infant development: recent advances* (p. 75-100). Hove: Psychology Press.

Houghton, G. (1994). Inhibitory Control of Neurodynamics: Opponent Mechanisms in Sequencing and Selective Attention. În M. Oaksford şi G. D. A. Brown (Ed.), *Neurodynamics and Psychology* (p. 107-157). Sand Diego, CA: Academic Press.

Ibáñez, A. (2007). Complexity and Cognition: A Meta-Theoretical Analysis of the Mind and Brain as a Topological Dynamical System. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 11, p. 51-90.

Inder, R. (1996). Planning and problem solving. În M. Boden (Ed.), *Artificial Intelligence* (p.23-53). San Diego: Academic Press.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt. Lucrare reprodusă şi vizitată pe site-ul de la adresa: http://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/index.htm, la data de 23.05.2004.

James, W. (1892). *The Stream of Consciousness*. Capitolul XI din W. James, Psychology, Cleveland & New York: World, reprodus şi consultat pe site-ul de la adresa: http://psychclassics.yorku.ca/James/jimmy11.htm, la data de 23.05.2004.

Jonker, C. M., Treur, J. (2002). Analysis of the dynamics of reasoning using multiple representations. În W.D. Gray şi C.D. Schunn (Ed.), *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, CogSci 2002. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., p. 512-517.

Jordan, J. S. (2003). The Embodiment of Intentionality. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 201-227), New Jersey: World Scientific.

Jordan, M. I. (1996). Computational aspects of motor control and motor learning. În H. Heuer şi S. Keele (Ed.), *Handbook of Perception and Action: Motor Skills* (p.71-118). New York: Academic Press.

Joslyn, C., Turchin, V. (1993). *System*, în Principia Cybernetica, website cu adresa http://pespmc1.vub.ac.be/%5ESYSTEM.html, vizitat la data de 11.02.2001.

Jung, C. G. (1931). *Seelenprobleme der Gegenwart*, Zürich: Rascher, traducere în română litografiată.

Jung, C. G. (1948). *Über psychische Energetik und das Wesen der Träume*, Zürich: Rascher, traducere în română litografiată.

Jung, C. G. (2005). *Opere complete vol. 9: Aion. Contributii la simbolistica Sinelui*. Bucureşti: Editura Trei, traducere, titlul original: Gesamelte Werke, vol. 9/2 – AION, Beiträge zur Symbolik des Selbst, publicată de: Walter-Verlag, Solothurn şi Düsseldorf, 1995, prima ediţie în 1951.

Jung, C.G. (1999). Simboluri ale transformării. Bucureşti: Editura Teora, traducere după C. G. Jung, Symbole der Wandlung, Zürich: Rascher, 1952.

Kampis, G. (1991). Emergent Computations, Life and Cognition. *World Futures*, 32, p. 85-93.

Kampis, G. (2003). *Chaotic Itinerancy: A Multi-Disciplinary Perspective*. Site vizitat la adresa http://www.jaist.ac.jp/~g-kampis/Chaos/CI.pdf, la data de 03.03.2005.

Kaneko, K. (1998). Life as Complex Systems: Viewpoint from Intra-Inter Dynamics. *Complexity*, 3, p. 53-60.

Kaneko, K. (2002). Dominance of Milnor attractors in globally coupled dynamical systems with more than 7 ± 2 degrees of freedom. *Physical Review E*, 66, p. 055201-055204.

Kaneko, K., Tsuda, I. (2003). Chaotic itinerancy. *Chaos*, 13, p. 926-936.

Kataoka, N., Kaneko, K. (1999). *Functional Dynamics I. Articulation Process*. Site vizitat la adresa: http://arxiv.org/ps/adap-org/9907006.pdf, la data de 03.08.2005.

Kataoka, N., Kaneko, K. (2000). Functional Dynamics II. Syntactic Structure. *Physica D*, 149, p. 147-196.

Kauffman, L.H., Sabelli, H. (1998). The Process Equation. *Cybernetics and Systems*, 29, p. 345-462.

Keijzer, F. (2003). Self-steered Self-organization. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 243-259). New Jersey: World Scientific.

Kelso, S. J. A. (2003). Cognitive Coordination Dynamics. În W. Tschacher, J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 45-67). New Jersey: World Scientific.

Kentridge, R. W. (1994). Critical Dynamics of Neural Networks and Spatially Localised Connections. În M. Oaksford şi G. D. A. Brown (Ed.), *Neurodynamics and Psychology* (p. 181-215). Sand Diego, CA: Academic Press.

Kirshbaum, D. (2002). *Introduction to Complex Systems*. Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/intro.htm#nln, la data de 23.04.2003.

Klaus, G. (1962). *Kybernetik in philosophischer Sicht*. Berlin: Dietz Verlag.

Kriegeskorte, N., Sorger, B., Naumer, M., Schwarzbach, J., van den Boogert, E., Hussy, W., Goebel, R. (2003). Human Cortical Object Recognition from a Visual Motion Flowfield. *The Journal of Neuroscience*, 23, p. 1451 -1463.

Kriz, J. (2001). Self-Organization of Cognitive and Interactional Processes. În M. Matthies, H. Malchow şi J. Kriz (Ed.), *Integrative Systems Approaches to Natural and Social Dynamics* (p. 517-537). Heidelberg /New York: Springer.

Kühn, R. (2005). *Introduction to Dynamical Systems CM131A*. Pe baza notelor de curs ale lui H. C. Rae, Londra: Departamentul de Matematică al Colegiului King.

Kujundzic, K (2000). *The Role of Mental Variation in Cognitive Science: Structured Imagination and Conceptual Combinations*. Site vizitat la adresa http://www.bu.edu/wcp/Papers/Cogn/CognKuju.htm, la data de 09.11.2003.

Latané, B., Nowack, A. (1994). Attitudes as Catastrophes: From Dimensoins to Categories with Increasing Involvement. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 219-251). San Diego: Academic Press.

Latham, P. E., Deneve, S., Pouget, A. (2003). Optimal computation with attractor networks. *Journal of Physiology*, 97. p. 683-694.

Lawson, J., Lewis, J. (2004). Representation Emerges from Coupled Behavior. În *Workshop Proceedings of the 2004 Genetic and Evolutionary Computation Conference*. 26-30 Iunie, 2004. Seattle, WA .

Leopold, D. A., O'Tool, A. J., Vetter, T., Blanz, V. (2001). Prototype-referenced shape encoding revealed by high-level aftereffects. *Nature Neuroscience*, 4, p. 89-94.

Levy, S. Pollack, J.B. (2001). Logical Computation on a Fractal Neural Substrate. *IJCNN 2001*, IEEE press, lucrare pe site-ul vizitat la adresa http://demo.cs.brandeis.edu/papers/raam-ijcnn01.pdf, la data de 23.05.2004.

Lucas, C. (1997). *Self-Organizing Systems*. Site vizitat la data de 02.10.200 la adresa: http://www.calresco.org/sos/sosfaq.htm

Lucas, C. (2002). *Nonlinear Science - Chaos Tamed*. Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/nonlin.htm, la data de 23.04.2003.

Lucas, C. (2004a). *Attractors Everywhere - Order from Chaos*. Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/attract.htm, la data de 11.11.2005.

Lucas, C. (2004b). *Complexity & Artificial Life - What are they?* Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/cal.htm, la data de 30.02.2004.

Lucas, C. (2004c). *Self-Organization and Human Robots?* Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/lucas/selforg.htm, la data de 30.02.2004.

Lucas, C. (2005a). *Autopoiesis and Coevolution*. Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/lucas/auto.htm, la data de 04.05.2005.

Lucas, C. (2005b). *Perturbation and Transients - The Edge of Chaos*. Site vizitat la adresa http://www.calresco.org/perturb.htm, la data de 13.07.2005.

Luger, G. (1994). *Cognitive science: the science of intelligent systems*. San Diego: Academic Press.

Luger, G. F., Johnson, P., Stern, C., Newman, J., Yeo, R. (1994). *Cognitive Science: The Science of Intelligent Systems*. Boston, MA: Academic Press.

Lundqvist, M., Rehn, M., Djurfeldt, M., Lansner, A. (2006). Attractor dynamics in a modular network modelof neocortex. *Network*, 17, p. 253-276.

Lungarella, M., Metta, G., Pfeifer, R., Sandini, G. (2003). Developmental robotics: a survey. *Connection Sciences*, 15, p. 151-190.

Mandel, D. R. (1995). Chaos Theory, Sensitive Dependence, and the Logistic Equation. *American Psychologist*, 50, p.106-107.

Mandelblit, N., Zachar, O. (1998). The notion of dynamic unit: Conceptual developments in cognitive science. *Cognitive Science*, 22, p. 229-268.

Mandelbrot, B. (1998). *Obiectele fractale. Formă, hazard şi dimensiune*, Bucureşti: Nemira, traducere din limba franceză de Florin Munteanu după Mandelbot Benoît, Les Objects fractals, 1975, 1984.

Mandell, A. J., Selz, K. A. (1994). The New Statistical Dynamics: An Informal Look at Invariant Measures of Psychological Time Series. În R. R. Vallacher & A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 55-70). San Diego: Academic Press.

Markman, A. B., Dietrich, E. (2000). In Defense of Representation. *Cognitive Psychology*, 40, p. 138-171.

Marks-Tarlow, T. (2002a). Fractal Dynamics of the Psyche. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Marks-Tarlow, T. (2002b). The Observer in the Observed: Fractal Dynamics of Re-entry. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Martin, L. A. (1997). *The First Step* (D-4694), *System Dynamics in Education Project*, System Dynamics Group, Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology. Site vizitat la adresa http://sysdyn.clexchange.org/sdep/Roadmaps/RM2/D-4502-6.pdf, la data de 4.07.2000.

Masulli, I. (1993). Cognitive Maps and Social Change. În I. Masulli, E. Laszlo, R. Artigiani şi V. Csányi (Ed.), *The evolution of Cognitive Maps. New Paradigms for the Twenty-First Century*, (p. 169 – 180). Paris: Gordon & Breach Science Publishers.

McGuigan, F. J. (1993). *Experimental Psychology: Methods of Research* (a 6-a ediţie). Englewoods Cliffs: Prentice Hall.

McRae, K. (2004). Semantic memory: Some insights from feature-based connectionist attractor networks. *The Psychology of Learning and Motivation*, 45, p. 41-86.

Meiss, J. D. (2003). *Nonlinear Science FAQ Frequently asked questions about Nonlinear Science, Chaos, and Dynamical Systems*, versiunea din 2 septembrie. 2003 a documentului "Frequently Asked Questions" pentru newsgroup-ul sci.nonlinear, vizitat la adresa http://www.faqs.org/faqs/sci/nonlinear-faq/, în data de 2.11.2003.

Mesbahi, M. (2003). *State-Dependent Graphs*. Lucrare prezentată la IEEE Conference on Decision and Control şi aflată pe site-ul vizitat la adresa http://www.aa.washington.edu/faculty/mesbahi/papers/graphs.pdf, la data de 28.08.2002.

Metzger, M. A. (1995). Multiprocess models applied to cognitive and behavioral dynamics. În R. E. Port şi T. van Gelder (Ed.), *Mind as motion* (p. 491-526). Cambridge: MIT Press.

Metzger, M. A. (1997). Applications of nonlinear dynamic systems theory in developmental psychology: Motor and cognitive development. *Nonlinear Dynamics, Psychology, And Life Sciences*, 1, p. 55-68.

Miclea, M. (1994). *Psihologie cognitivă*, Cluj-Napoca: Gloria.

Mira, C. (1987a). Généralités sur l'outil récurrences (transformation ponctuelle). În M. Cosnard (Ed.), *Traitement numérique des attracteurs étranges* (p. 1-25). Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.

Mira, C. (1987b). Structure de bifurcations boites-emboitées et systèmes dynamiques. În M. Cosnard (Ed.), *Traitement numérique des attracteurs étranges* (p. 61-75). Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.

Mitchell, M. (1998). A complex-systems perspective on the "computation vs. dynamics" debate in cognitive science. În M. A. Gernsbacher şi S. J. Derry (Ed.), *Proceedings of the 20th Annual Conference of the Cognitive Science Society--- Cogsci98* (p. 710-715), Mahwah, NJ: Erlbaum.

Molnár, M., Osman-Sági, J., Nagy, Z., Kenéz, J. (1999). Scalp distribution of the dimensional complexity of the EEG and the P3 ERP component in stroke patients. *International Journal of Psychophysiology*, 34, p. 53-63.

Molnár, M., Osman-Sági, J., Nagy, Z., Kenéz, J. (1999). Scalp distribution of the dimensional complexity of the EEG and the P3 ERP component in stroke patients. *International Journal of Psychophysiology*, 34, p. 53-63.

Molnár, M., Skinner, J.E., Csépe, V., Winkler, I., Karmos, G. (1995). Correlation dimension changes accompanying the occurrence of the mismatch-negativity and the P3 event-related potential component. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, p. 118-126.

Moraru, I. (2006). *Psihologia haologică*. Bucureşti: Matrix Rom.

Moscovici, S. (1995). Fenomenul reprezentărilor sociale. În A. Neculau (Ed.), *Reprezentari Sociale. Psihologia Câmpului Social* (p. 1-85). Bucuresti: Societatea de Ştiinţă si Tehnică, traducere după S. Moscovici, The phenomenon of social representations, în R. M. Farr şi S. Moscovici (Ed.) Social Representations (p. 3-69), Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

Newell, F. N., Wallraven, C., Huber, S. (2004). The role of characteristic motion in object categorization. *Journal of Vision*, 4, p. 118-129.

Newtson, D. (1994). The Perception and Coupling of Behavior Waves. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 139-168). San Diego: Academic Press.

Nishikawa, T., Kaneko, K (1996) Fractalization of Torus Revisited as a Strange Nonchaotic Attractor. *Physical. Review E.* 54, p. 6114-6124.

Noelle, D. C. and Cottrell, G. W. (1996). In search of articulated attractors. În G. W. Cottrell (Ed.), *Proceedings of the 18th Annual Conference Of The Cognitive Science Society* (p. 329-334). La Jolla: Lawrence Erlbaum.

Noica, C. (1995). *Schiţă pentru istoria lui Cum e cu putinţă ceva nou*. Bucureşti: Humanitas.

Nonlinear Dynamics and Complex Systems Theory. Glossary of Terms (2004). Site vizitat la http://www.cna.org/isaac/Glossb.htm, în data de 13.05.2004.

Norton, A. (1995). Dynamics: A Tutorial Introduction for Cognitive Scientists. În R. Port şi T. van Gelder (Ed.), *Dynamics: An Introduction* (p. 45-69). Cambridge: MIT Press.

Nowak, A., Lewenstein, M. (1994). Dynamical systems: A tool for social psychology?, În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 17-54). San Diego: Academic Press.

Nowak, A., Vallacher, R. R., Lewenstein, M. (1994). Toward a dynamical social psychology. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 279-293). San Diego, CA: Academic Press.

Oaksford, M., Malloch, M. I. (1994). Dynamic schemata: Evidence from cognitive neuropsychology. În M. Oaksford şi G. D. A. Brown (Ed.), *Neurodynamics and Psychology* (p. 83-106). London: Academic Press.

O'Toole, A. J., Roark, D. A., Abdi, H. (2002). Recognizing moving faces: a psychological and neural synthesis. *Trends in Cognitive Science*, 6, p. 261-266.

Otsuka, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., O'Toole, A. J., Abdi, H. (2005). The Effect of Motion Information on Infants' Recognition of Unfamiliar Faces. *Japanese Journal of Psychonomic Society*, 24, p. 125-126.

Pallbo, R. (1993). Ontogenesis in Neural Networks. *Lund University Cognitive Studies*, 24, p. 1-10.

Papalia, D. E., Olds, S. W. (1985). *Psychology*. New York: McGraw-Hill Book Company

Parker, D. (1999). *ENVI 2200 - Environmental Systems Modelling. Linear Systems.* Site vizitat la adresa http://www.env.leeds.ac.uk/envi2200/lecture8/lecture8.html, la data de 12.11.2000.

Peng, C.-K., Hausdorff J. M, Goldberger A. L. (2000). Fractal mechanisms in neural control: Human heartbeat and gait dynamics in health and disease. În J. Walleczek (Ed.) *Self-Organized Biological Dynamics and Nonlinear Control* (p. 66-97). Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Perona-Garcelán, S., Cuevas-Yust, C. (1998). Behavioural treatment of auditory hallucinations in a schizophrenic patient: a case study. *Psychology in Spain*, 2, p. 3-10.

Poccia, D. (1999). *Dynamical Systems: Introduction & Definition.* Site vizitat la adresa http://web.tiscali.it/dpoccia/dsid.html, la data de 12.03.2000.

Popescu, Th. (2000). *Serii de timp. Aplicaţii în analiza sistemelor*. Bucureşti: Editura Tehincă.

Popoviciu, L., Foişoreanu, V. Corfariu, O., Enătescu, V. (1978). *Visul. Probleme de fiziologie, psihologie şi patologie*. Cluj-Napoca: Editura Dacia.

Port, R. F., van Gelder, T. (1995). Glossary. În R. Port and T. van Gelder (Ed.), *Dynamics: An Introduction* (p. 573-579). Cambridge: MIT Press.

Porte, M. (1994). *La dynamique qualitative en psychanalise*. Paris: Presses Universitaires de France.

Portugali, J. (2002). The Seven Basic Propositions of SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks). *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 5, p. 428-444.

Prigogine, Y., Stengers, I. (1997). *Între eternitate şi timp*. Bucureşti: Editura Humanitas.

Pronovost, S. (2006). *Of computations and dynamic systems - An overview of the dynamicistcontroversy in cognitive science*, Carleton University Cognitive Science Technical Report 2006-05. 2006. pe site-ul vizitat la adresa: http://www.carleton.ca/iis/TechReports, la data de 09.04.2005.

Quoy, M., Banquet, J.-P., Daucéc, E. (2001). Learning and control with chaos: From biology to robotics. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, p. 824-825.

Raczaszek, J., Tuller, B., Shapiro, L. P., Case, P., Kelso, S. (1999). Categorization of Ambiguous Sentences as a Function of a Changing Prosodic Parameter: A Dynamical Approach. *Journal of Psycholinguistic Research,* 28, p. 367-394.

Rae, G. (2003). *Chaos Theory: A Brief Introduction*. Site vizitat la adresa http://www.imho.com/grae/chaos/index.html, la data de 24.03.2004.

Raffone, A., van Leeuwen, C. (2002). Activation and coherence in memory processes: revisiting the PDP approach to retrieval. *Connection Science*, *13*, p. 349-382.

Read, S. J., Snow, C. J., Simon, D. (2003). Constraint Satisfaction Processes in Social Reasoning. *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Lucrare pe site-ul vizitat la adresa: http://www-ref.usc.edu/~read/Published%20papers/Read%20et%20al%20CogSci2003.pdf, la data de 04.05.2004.

Reese, E. (2002). Social factors in the development of autobiographical memory: The state of the art. *Social Development* , 11, p. 124-142.

Robert, T., Roman, E. (1998). *Virtuțile haosului*. București: Editura ALL Educațional.

Rocha, L.M. (1998). Syntactic Autonomy. În *Proceedings of the Joint Conference on the Science and Technology of Intelligent Systems (ISIC/CIRA/ISAS 98). National Institute of Standards and Technology* (p. 706-711. Gaithersburg, MD: IEEE Press.

Rockwell, T. (2005). Attractor Spaces as Modules:a Semi-Eliminative Reduction of Symbolic AI to Dynamic Systems Theory. *Minds and Machines*, 15, p. 23-55.

Rockwell, W. T. (1998). The Modularity of Dynamic Systems. Colloquia Manilana, 6. Site vizitat la adresa: *http://www.california.com/~mcmf/mod.html*, la data 12.03.2003.

Rodriguez, P., Wiles, J., Elman, J. L. (1999). A recurrent neural network that learns to count. *Connection Science*, 11, p. 5-40.

Romero, J. L. R., Vázquez, G. (1998). *Modelos y sistemas dinámicos*. Cádiz: Universidad, Servicio de Publicaciones.

Rosenstein, M. T, Collins J. J, De Luca, C. J. (1993). A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. *Physica D*, 65, p. 117-134.

Rubin, D. (2004). *Nonlinear Dynamics and Fractals--New Numerical Techniques for Sedimentary Data*. Site vizitat la adresa http://walrus.wr.usgs.gov/seds/ch5/5.1.html, la data de 05.06.2005.

Rumelhart, D. A. (1996). The Architecture of Mind: A Connectionist Approach. În M. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (p. 133-161). Cambridge, MA: MIT Press.

Sabelli, H. C. (1995). Non-Linear Dynamics as a Dialectic Logic. În *Proceedings of International Society of System Sciences* (p. 101-112). Pe site-ul vizitat cla adresa: http://creativebios.com/Nonlinea%20Dynamics%20as%20a%20process%20logic.html, la data de 23.07.2000.

Sadr, J., Jarudi, J., Sinha, P. (2003). The role of eyebrows in face recognition. *Perception*, 32, p.285-293.

Salthe, S. N. (1991). Varieties of Emergence. *World Futures,* 32, p.69-83.

Sardanyés, J. (2004). *Chaos.* Site vizitat la adresa http://complex.upf.es/~josep/Chaos.html, la data de 24.09.2005.

Sardar, Z., Abrams, I. (2002). *Câte ceva despre haos.* Bucureşti: Curtea Veche Publishing, traducere Raluca Maria Schidu.

Sauer, T. D. (2006). Attractor reconstruction. *Scholarpedia*, 1(10):1727.

Saulnier, B. (2003). Au-delà du représentationnalisme symbolique. La modélisation constructiviste et morphodynamique des systèmes, et le défi de la compositionnalité. În J. Gayon (Ed.), *Mémoire de DEA (Philosophie des Sciences), 1, Septembre.* Paris.

Saunders, P. T. (1993). The Organism as a Dynamical System. În F. Varela & W. Stein (Ed.), *Thinking about Biology* (SFI Studies in the Sciences of Complexity, Lecture Notes Vol. III) (p. 41-63). Reading: Addison Wesley.

Scales, J.A., Snieder, R. (1999). What is a Wave?. *Nature*, 401, p. 739–740.

Schanck, R. C. (1999). *Dynamic Memory Revisited.* Cambridge: Cambridge University Press.

Schnaitter, R. (1985). The haunted clock work: reflections on Gilbert Ryle's "The Concept of Mind". *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 43, p. 145-153.

Schroeck, F. E. Jr. (1994). New Mathematical Techniques for Pattern Recognition. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 71-95). San Diego: Academic Press.

Schyns, P. G. Goldstone, R. L. Thibaut J.-P. (1998). The development of features in object concepts. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, p. 1-54.

Selz, K. A., Mandell, A. J. (1994). A Family of Autocorrelation Graph Equivalence Classes on Symbolic Dynamics as Models of Individual Differences in Human Behavioral Style. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 169-197). San Diego: Academic Press.

Shalizi, C. R. (1997). *Dissipative structures.* Site vizitat la adresa http://jcbmac.chem.brown.edu/baird/Chem40/links/dissapitiveStructures.html, la data de 10.02.2006.

Shalizi, C. R. (2006). *Dynamical Systems (Including Chaos).* Site vizitat la adresa http://cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/chaos.html, la data de 10.02.2006

Shastri, L., Ajjanagadde, V. (1993). From simple associations to systematic reasoning: A connectionist representation of rules, variables and dynamic bindings using temporal synchrony. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, p. 417-494.

Shore, C. M. (1995). *Individual Differences in Language Development.* Thousand Oaks: Sage.

Siegler, R. S., Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist, 46*, p. 606-620.

Silvi, B. (2002). *The topological analysis of ELF: an introduction. The Mathematical model.* Site vizitat la adresa http://www.lct.jussieu.fr/silvi/elfhtml/node1.html, la data de 06.02.2004.

Simondon, G. (1969). La perception de longue durée. *Journal de Psychologie*, 4, p. 310-356.

Skarda, C.A., Freeman, W.J. (1987). How brains make chaos to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 10, p. 161-195.

Sleigh, J. W., Steyn-Ross, D. A., Steyn-Ross, M. (1998). The First Time-Derivative of the EEG: A Possible Proxy for the Order-Parameter for the Cerebral Cortex. *Complexity International*, 6, jurnal în format electronic aflat la adresa: http://www.complexity.org.au/ci/idx-volume.html

Sloman, S. A., Love, B. C., Ahn, W. K. (1998). Feature Centrality and Conceptual Coherence. *Cognitive Science*, 22, p. 189-228.

Smith, L.B., Thelen, E. (1993). Can dynamical systems be usefully applied in areas of other than motor development? În L.B. Smith şi E. Thelen (Ed.), *A dynamical systems approach to development: Applications* (p. 151-170), Bradford Books: MIT Press.

Spencer, J. P., Schöner, G. (2003). Bridging the representational gap in the dynamical systems approach to development. *Developmental Science*, 6, p. 392-412.

Spivey, M. J., Dale, R. (2004). On the continuity of mind: toward a dynamical account of cognition. *The Psychology of Learning*, 45, p. 87-141.

Spivey, M. J., Dale, R. (2006). Continuous Dynamics in Real-Time Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 15, p. 207-211.

Sprott, J. C. (2000). *Dynamical Systems Theory. Chaos and Time-Series Analysis.* Site vizitat la adresa http://sprott.physics.wisc.edu/phys505/lect04.htm, la data de 05.07.2001.

Steels, L. (1995). A self-organizing spatial vocabulary. *Artificial Life*, 2, p. 319-332.

Steels, L. (2003). Intelligence with representation. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361, p. 2381-2395.

Steels, L. (2005). The emergence and evolution of linguistic structure: from lexical to grammatical communication systems. *Connection Science*, 17, p. 213-230.

Steels, L., van Trijp, R., Wellens, P. (2007). Multi-Level Selection in the Emergence of Language Systematicity. *Advances in Artificial Life*, 4648, p. 425-434.

Stevens, D. A. (2000). *Nonlinear dynamic systems: Continuities and discontinuities with Piaget's theory of equilibration.* Lucrare prezentată la a 30-a Întâlnire anuală a Societății Jean Piaget: "Alternative Constructions of Self and Mind Constructions", 1-3 Iunie, 2000, Montréal, Canada.

Strănger, J., Hommel, B. (1996). The perception of action and movement. În W. Prinz şi B. Bridgeman (Ed.), *Handbook of perception and action, Vol. 1* (p. 397-451). Londra: Academic Press.

Sun, R. (1996). Commonsense reasoning with rules, cases, and connectionist models: A paradigmatic comparison. *Fuzzy Sets and Systems*, 82, p. 187-200.

Svensson, H., Ziemke, T. (2005). Embodied representation: What are the issues? În B Bara, L. Barsalou şi M. Buccarelli (Ed.), *Proceedings of the XXVII Annual*

Conference of the Cognitive Science Society, Stresa, Italy, July. (p. 2116-2121). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Tabor, W., Galantucci, B. (2000). Ungrammatical influences: evidence for dynamical language processing. În L. Gleitman şi A. Joshi (Ed.), *Proceedings of the 22nd Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (p. 505--510). Mahhwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Tabor, W., Hutchins, S. (2004). Evidence for Self-Organized Sentence Processing: Digging In Effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,* 30, p. 431-450.

Tabor, W., Tanenhaus, M. K. (1999). Dynamical Models of Sentence Processing. *Cognitive Science*, 23, p. 491-515.

Temprado, J.-J. (2003). Cognition in Action: The Interplay of Attention and Bimanual Coordination Dynamics. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 93-131). New Jersey: World Scientific.

Tesser, A., Achee, J. (1994). Aggresion, Love, Conformity, and Other Social Psychological Catastrophes. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 96-110). San Diego: Academic Press.

Thelen, E. (1992). Development as a dynamic system. *Current Directions in Psychological Science*, 1, p. 189-193.

Thelen, E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychologist*, 50, p. 79-95.

Thelen, E. (2003). Grounded in the World: Developmental Origins of the Embodied Mind. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 17-44). New Jersey: World Scientific.

Thom, R. (1994). Préface. În M. Porte, *La dynamique qualitative en psychanalise* (p. V-XVI). Paris: Presses Universitaires de France.

Thor, M. (1997). Postsupposition and Pastiche Talk: Mediating Order in Chaos and Language. *Dynamical Psychology. An International, Interdisciplinary Journal of Complex Mental Processes*, jurnal în format electronic la adresa http://goertzel.org/dynapsyc/dynacon.html

Townsend, J. T., Busemeyer, J. (1995). Dynamic Representation in Decision Making. În: R. F. Port şi T. van Gelder (Ed.), *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition* (p. 101-120). Cambridge: MIT Press.

Treumann, R. A. (1993). The cognitive map and the dynamics of information. În E. Laszlo şi I. Masulli (Ed.), *The evolution of cognitive maps: New paradigms for the twenty-first century* (p. 78-98). USA: Gordon and Breach.

Treur, J. (2005). States of change: explaining dynamics by anticipatory state properties. *Philosophical Psychology*, 18, p. 441-471.

Tschacher, W., Dauwalder, J.-P. (2003). Introduction. În W. Tschacher şi J.-P., Dauwalder, (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition: Concepts and Empirical Paradigms Based on Self-Organization, Embodiment, and Coordination Dynamics. Vol. 10. Studies of Nonlinear Phenomena in Life Science*, Tschacher (p. ix-xi). New Jersey: World Scientific.

Tschacher, W., Dauwalder, J.-P., Haken, H. (2003). Self-Organizing Systems show Apparent Intentionality. În W. Tschacher şi J.-P. Dauwalder (Ed.), *The Dynamical Systems Approach to Cognition* (p. 183-200). New Jersey: World Scientific.

Tsuda, I. (1991). Chaotic itinerancy as a dynamical basis of hermeneutics in brain and mind. *World Futures*, 32, p. 167-184.

Tsuda, I. (2001). Toward an interpretation of dynamic neural activity in terms of chaotic dynamical systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, p. 793–847.

Tufillaro N. B., Reilly J., Abbott T. (1992). *An experimental approach to nonlinear dynamics and chaos*. Redwood City, CA: Addison-Wesley.

Tuller, B., Case, P., Kelso, J. A. S., Ding, M. (1994). The nonlinear dynamics of categorical perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, p. 3-16.

Uhr, L., Honavar, V. (1994). Introduction: Artificial Intelligence and Neural Networks: Steps Toward Principled Integration. În V. Honavar şi L. Uhr (Ed.), *Artificial Intelligence and Neural Networks:Steps Toward Principled Integration* (p. xvii-xxxii), Boston: Academic Press.

Vallacher, R. R., Nowak, A. (1994). The chaos in social psychology. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 1-16),.San Diego: Academic Press.

Vallacher, R. R., Nowak, A. (1994a). The chaos in social psychology. în R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 1-16). San Diego: Academic Press.

Vallacher, R. R., Nowak, A. (1994b). The Stream of Social Judgment. În R. R. Vallacher şi A. Nowak (Ed.), *Dynamical systems in social psychology* (p. 251-279). San Diego: Academic Press.

Van der Maas, H. L. J., Kolstein, R., van der Pligt, J. (2003). Sudden jumps in attitudes. *Sociological methods & research*, 32, p. 125-152.

Van der Maas, H. L. J., Molenaar, P. C. M. (1992). Stagewise cognitive development: an application of catastrophe theory. *Psychological Review*, 99, p. 395-417.

Van der Maas, H. L. J., Molenaar, P. C. M. (1996). Catastrophe analysis of discontinuous development. În A.A. van Eye şi C.C. Clogg (Ed.), *Categorical variables in developmental research. Methods of analysis* (p.77-105). San Diego: Academic Press

Van Ejik (1994). *Presuppositions and Dynamic Logic*. Stanford: Center for the Study of Language and Information, Raport de cercetare Nr. CSLI-94-186.

Van Geert, P. (1994*). Dynamic systems of development: Change between complexity and chaos*. Londra: Harvester Wheatsheaf.

Van Geert, P. (1998). We almost had a great future behind us: The contribution of non-linear dynamics to developmental-science-in-the-making. *Developmental Science*, 1, p. 143-159.

Van Geert, P. (2008). The Dynamic Systems approach in the study of L1 and L2 acquisition: an introduction. *The Modern Language Journal*, 92, p. 179-199.

Van Geert, P., Steenbeek, H. (2008). A complexity and dynamic systems approach to developmental assessment, modeling and research. În A. M. Battro, K. W. Fischer şi P. Léna (Ed.), *The educated brain: essays in neuro-education* (p. 71-94). Cambridge U.K: Cambridge University Press.

Van Gelder, T. J. (1998). The dynamical hypothesis in cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, p. 615-628.

Van Gelder, T. J. (1999a). Bait and switch? Real time, ersatz time and dynamical models. în R. Heath, B. Hayes, A. Heathcote şi C. Hooker (Ed.), *Dynamical Cognitive Science: Proceedings of the Fourth Australasian Cognitive Science Conference*, Newcastle, NSW: University of Newcastle.

Van Gelder, T. J. (1999b). Dynamic approaches to cognition. În R. Wilson şi F. Keil (Ed.), *The MIT Encyclopedia of Cognitive Sciences* (p. 244-246.). Cambridge MA: MIT Press.

Van Gelder, T. J. (2000) Wooden Iron? Husserlian Phenomenology Meets Cognitive Science. În J. Petitot, F. J. Varela, J.-M. Roy şi B. Pachoud (Ed.), *Naturalizing Phenomenology: Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science* (p. 245-265). Stanford: Stanford University Press.

Van Gelder, T. J., Port, R. (1995). It's About Time: An Overview of the Dynamical Approach to Cognition. În R. Port şi T. van Gelder (Ed.), *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition* (p. 1-43). Cambridge MA: MIT Press.

Van Orden, G. C., Holden, J. G., Turvey, M. T. (2005). Human cognition and1/f scaling. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134, p. 117-123.

Van Rooij, I.J.E.I., Bongers, R.M., Haselager, W.F.G. (2000). The dynamics of simple prediction: Judging reachability. *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society, 2000*, p. 535-540.

Varela, F. (1993). When is a Map Cognitive? În E. Laszlo şi I. Masulli (Ed.), *The evolution of cognitive maps: New paradigms for the twenty-first century* (p. 99-105). USA: Gordon and Breach.

Varela, F. J. (1994). Autopoiesis and a Biology of Intentionality. În B. McMullinand şi N. Murphy (Ed.), *Autopoiesis & Perception* (p.1–14). Dublin: School of Electronic Engineering.

Verschure, P. F. M. J. (1992). *Modeling adaptive behavior: the dynamics of system-environment interaction*. Zürich: Zentralstelle der Studente.

Vezerides, K., Kehagias, Ath. (2003). *The Liar and Related Paradoxes: Fuzzy Truth Value Assignment for Collections of Self-Referential Sentences*, CS Arxiv TR cs.LO/0309046, pe site-ul vizitat la adresa: http://users.auth.gr/~kehagiat/KehPub/techreps/200309046.pdf, la data de 09.04.2004.

Voinea, R. P., Stroe, I. V. (2000). *Introducere în teoria sistemelor dinamice*, Bucureşti: Editura Academiei Române.

Vuong, Q. C. (2005). *Objects-in-Motion: A Case Study of the Visual Recognition of Dynamic Objects, PhD Thesis Proposal*. Site vizitat la adresa

http://www.cog.brown.edu/~qvuong/thesis/qcv_thesis_proposal.pdf, la data de 1.08.2005.

Vuong, Q. C., Tarr, M. J. (2004). Rotation direction affects object recognition. *Vision Research*, 44, p. 1717-1730.

Wagenmakers, E.-J., van der Maas, H. L. J., Molenaar, P. C. M. (2005). Fitting the cusp catastrophe model. În B. Everitt şi D. Howel (Ed.), *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*, Vol. 1, (p. 234–239). New York: Wiley.

Ward, L.M., West, R. (1994). On chaotic behavior. *Psychological Science, 5*, p. 232-236.

Warren, K., Franklin, C. (1998). New Directions in Systems Theory: Chaos and Complexity. *Social Work*, 43, p. 357-373.

Watters, P. A. (1998). Fractal Structure in the Electroencephalogram. *Complexity International*, 5, jurnal în format electronic aflat la adresa: http://www.complexity.org.au/ci/idx-volume.html

Weckerly, J., Elman, J. L. (1992). A PDP approach to processing center-embedded sentences. În *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p. 414-419). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Weeks, E. R. (2003). *My Adventures in Chaotic Time Series Analysis*. Site vizitat la adresa http://www.physics.emory.edu/~weeks/research/tseries6.html, la data de 27.11.2003.

Weiskopf, D. A. (2004). The place of time in cognition. *British Journal for the Philosophy of Science*, 55, p. 87-105.

Weisstein E. W. (1999). *Vector Field*. Din *MathWorld*--A Wolfram Web Resource. Site vizitat la http://mathworld.wolfram.com/VectorField.html, la data de 12.03.2004.

Whitall, J., Getchell, N. (1995). From walking to running; using a dynamical systems approach on the development of locomotor skills. *Child Development*, 67, p. 1541 -1553.

Wiener, N. (1966). *Cibernetica sau ştiinţa comenzii şi comunicării la fiinţe şi maşini*. Bucureşti: Editura Ştiinţifică, traducere după "Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine", 1948, ediţia a doua 1961: New York, MIT Press.

Wildgen, W. (2005). Catastrophe Theoretical Models in Semantics. În R. Köhler, G. Altmann şi R. G. Pietrowski (Ed) *Quantitative Linguistics/Quantitative Linguistik. An International Handbook* (p. 410-423). Berlin: de Gruyter.

Williams, S. G. (1991). *Introduction to Symbolic Dynamics*. Site vizitat la adresa http://www.southalabama.edu/mathstat/personal_pages/williams/wilshort.pdf, la data de 13.07.2005.

Wittgenstein, L. (1993). *Caietul albastru*. Bucureşti: Humanitas. Traducere după L. Wittgenstein, "The Blue Book", Basil Blackwell, 1958.

Woollacott, M. H., Jensen, J. L. (1996). Posture and locomotion. În H. Heuer şi S. Keele (Ed.), *Handbook of Perception and Action*, Vol 2 (p. 333-403). London: Academic Press.

Wright, D. J. (1996). *Dynamical Systems and Fractals Lecture Notes*. Site vizitat la adresa: http://www.math.okstate.edu/mathdept/dynamics/lecnotes/lecnotes.html, la data de 02.07.2000.

Yalçinkaya, T., Lai Y.-C. (1997). Bifurcation to strange nonchaotic attractors, *Physical Review*, 66, p. 1623-1630.

Yamamoto, T., Kuniyoshi, Y. (2002). Global Dynamics: a new concept for design of dynamical behavior. În C. G. Prince, Y. Demiris, Y. Marom, H. Kozima şi C. Balkenius (Ed.), *Proceedings Second International Workshop on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems* 94, (p.177-180). Edinburgh, Scotland.

Zemel, R. S., Mozer, M. C. (2000). *A generative model for attractor dynamics*. Site vizitat la adresa: http://books.nips.cc/papers/txt/nips12/0080.txt:., la data de 23.04.2004.

Zörgo, B. (1963). Atenţia şi activitatea de orientare. În A. Roşca (Coord.). *Tratat de psihologie experimentală* (p. 131-163). Bucureşti: Editura Academiei Republicii Populare Române.

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B.C.U. "M. EMINESCU" IAŞI

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B.C.U. "M. EMINESCU" IAȘI

23108

7772

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SERIA:
Filosofie • Sociologie • Psihologie

Lucrarea de față se adresează în primul rând psihologilor, specialiștilor din alte domenii și altor cititori curioși care și-ar dori să se familiarizeze, la un nivel mai degrabă intuitiv, cu principiile și conceptele dinamicii neliniare și ale teoriilor conexe (a catastrofelor, a haosului, a fractalilor, a structurilor disipative, a complexității, sinergetica etc.) și cu o perspectivă din prisma acestora asupra proceselor cognitive superioare. Obiectivul lucrării a fost acela de a realiza o radiografie cât mai cuprinzătoare a stadiului actual al cercetărilor teoretice și empirice în această privință și de a oferi o baza conceptuală pentru a le înțelege. Lucrarea cuprinde două părți. Prima dintre ele, cu rol introductiv, pregătitor, este dedicată unei prezentări relativ extinse a teoriei sistemelor dinamice, a acelor conexe și a conceptelor lor. Cea de-a doua parte tratează propriu-zis abordarea dinamică a cogniției superioare, incluzând câte o secțiune separată pentru procesele și reprezentările memoriei, procesele de categorizare și reprezentările conceptuale, procesele rezolutive (raționament, rezolvare de probleme, evaluare și decizie), limbaj, atenție și conștiință. Îmi exprim speranța că acest început, oricât de modest, de a prezenta cititorilor ceea ce s-ar putea numi printr-o metaforă "dansul gândului", care ar reda mare parte din esența viziunii dinamice actuale asupra cogniției superioare, va fi de folos celor care vor dori să se aventureze într-un tărâm care a fost încă foarte puțin explorat.

ISBN 978-973-109-134-1